

Rapport Materiaalmetingen

in het kader van het project

Onderzoek naar de eigenschappen en gebruik van Materialen in de Orthopedische Schoen technologie

November 2015, update April 2016

Trudi Sonderkamp

Inhoud

Inleiding	3
Materiaal verzamelen.....	3
Meting 1: Dichtheid.....	4
Meting 2: Hardheid	5
Meting 3. Compressie curves	8
Meting 4: Hysterese / Duurzaamheid in cyclische belasting.....	15
Meting 5: Elasticiteit door middel van de Trekproef	21
Meting 6: Driepunts-buigsterkte	26
Meting 7: Compression set	29
Metingen PFI Schokabsorptie.....	30
Metingen PFI Effect van duurbelasting op schokabsorptie.....	34
Metingen PFI Martindale Abrasion.....	37
Literatuur	39

Inleiding

Uit de eerste 2 fases van het project Materiaalonderzoek, literatuuronderzoek en interviews met OST-ers, is een lijstje gekomen met de 10 meest gebruikte materialen en zijn 9 relevante eigenschappen gedefinieerd. De materialen en de eigenschappen zijn geëvalueerd in de expertgroep meeting van 6 juli 2015. Aan de hand hiervan is een meetplan opgesteld waarmee zoveel mogelijk van deze eigenschappen voor die materialen bepaald kunnen worden, zie "MEETPLAN Project Materialenonderzoek OST.docx". Een aantal metingen zijn uitbesteed aan het Pirmasens Forschungs Institut (PFI) in Pirmasens, Duitsland en parallel daaraan zijn er ook een aantal metingen uitgevoerd bij Engineering op Fontys locatie R1. Het originele rapport van november 2015 is een verslag van laatstgenoemde metingen.

In april 2016 is dit aangevuld met de bevindingen bij PFI en zijn enkele verbeteringen op eerder gerapporteerde waarden doorgevoerd, met name in meting 6: driepuntsbuigsterkte.

Materiaal verzamelen

Een aantal van de benodigde materialen zijn geleverd door enkele leden van de expertgroep, een paar ontbrekende zijn besteld bij Puzo en op FPH bleken nog een aantal platen materiaal aanwezig die ook in het onderzoek zijn meegenomen. Ook zijn er materiaal monsters verkregen uit een bezoek aan Frecoma. Een overzicht van de beschikbare materialen en hun herkomst wordt gegeven in tabel 1.

Tabel 1. Beschikbare materialen voor metingen

Nr	Naam	Merknaam	Chemische naam	Herkomst	Leverancier	kleur	dikte mm	lengte cm	breedte cm
1	Dyafoam	Dyafoam/X2/Poron	PU-foam open cell	Buchrnhornen	HJ van Drunen	roze	3	50	50
1	Dyafoam	Dyafoam/X2/Poron	PU-foam open cell	Buchrnhornen	HJ van Drunen	roze	6	50	50
2	PPT	PPT	PU-foam open cell	Buchrnhornen	HJ van Drunen	beige	3	50	50
2	PPT	PPT	PU-foam open cell	Buchrnhornen	HJ van Drunen	beige	6	50	50
3	EVA25	Delta plaat EVA30	EVA kunststof	Loopcentrum	Jan van Velden	wit	3	50	50
4	EVA35	Delta plaat EVA40	EVA kunststof	Loopcentrum	Jan van Velden	gebroken wit	10,6	50	50
5	EVA50	Aeroflex EVA50	EVA kunststof	Loopcentrum	HJ van Drunen	zandkleurig	5,1	50	50
6	EVA60	Delta plaat EVA 60	EVA kunststof	Loopcentrum	Jan van Velden	zwart	10	50	50
7	Multiform	Alveolux ?	Polyolefin	Puzo	Puzo	zalm	10	21	15,1
8	Microkurk	Felkor 70	Natuurkurk/EVA	Wittepoel	Puzo	grijsbeige	5	10	10
9	Microkurk	Felkor 50	Natuurkurk/EVA	Puzo	Puzo	grijsbeige	10	21	15,1
10	Perskurk	PKR Kurk	Natuurkurk/Natuurrubber	Puzo	Puzo	Kurkbruin	10	21	15,1
11	Perskurk	PKR	Natuurkurk/Natuurrubber	Wittepoel	Amorim (Portugal)	Kurkbruin	5	10	10
12	Poro	Lavero Opbouw shore 65	Rubber?EVA?	Buchrnhornen	HJ van Drunen	bruin	10	40	50
13	Poro	Lavero Opbouw zwart	Rubber?EVA?	Buchrnhornen	HJ van Drunen	zwart	6	40	50
14	Plastazote	Plastazote LD-33?	PE-foam closed cell	Fontys	Onbekend	wit	10	50	100
15	Erkoflex	Erkoflex	Ethylene Vinyl Acetaat copolymer	Loopcentrum	HJ van Drunen/Frecoma?	doorzichtig	3	50	50
16	Rhenoflex	RX-3182	Polyolefin with fabric	Loopcentrum	HJ van Drunen/Frecoma?	wit	1,6	50	50
17	Rubber	Rubber	Natuurrubber?SBR?	Buchrnhornen	HJ van Drunen	zwart	4	zoolvorm	zoolvorm
17	Rubber	Rubber	Natuurrubber?SBR?	Buchrnhornen	HJ van Drunen	zwart	6	zoolvorm	zoolvorm
18	Polypropyleen	ThermoLyn RCH 500 (PE-HD)	HD-PE 500	Wittepoel	Otto Bock	rood	5	10	10
19	Voering kalfsleer	Kalfvoering	leer	Loopcentrum	HJ van Drunen	beige	1	50	50
20	Sportvoering chromo	Voorbladvoering grijs	leer	Loopcentrum	Van Oosterum leder	lichtgrijs	1	50	50
21	Microfibre	Microfibre	PA/PU/PES	Frecoma	Frecoma	beige	0,8	144	22,7
22	Plastazote geel	Plastazote LD-45	PE-foam closed cell	Frecoma	Frecoma	geel	15	21	15,1
23	Plastazote groen	Plastazote LD-33	PE-foam closed cell	Frecoma	Frecoma	groen	15	21	15,1
24	Carbon	Duralite Mx	Carbonvezel/glasvezel 45%/55%	Frecoma	Frecoma	zwart	2	21	15,1
25	Rhenoflex RX3172	RX 3172 10.10.015	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	wit	1,5	30	21
26	Rhenoflex RX5432	RX 5432 00.00.000	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	beige bruin	0,8	30	21
27	Rhenoflex RX3205	RX3205 10.20.018	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	grijs	1,8	30	21
28	Rhenoflex RX5052	RX5052 00.00.000	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	lichtbruin	1,1	30	21
29	Thermo200	Thermo 200	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	wit	2	30	21
30	Imperfirm	Imperfirm 65P 20.20.012	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	bruin	1,2	21	15,1
31	Imperflex	Imperflex V55P 20.10.010	Polyolefin with fabric	Frecoma	Frecoma	lichtblauw	1	21	15,1
32	Thermofix	Thermofix ca 50 shore	EVA kunststof	Fontys	Puzo	bruin caramél	15	50	50
33	Alveolux	Alveolux glag 30 shore	Polyolefin	Fontys	Inmotus	zalm	15	50	50
34	Digisole EVA20	Digisole EVA 20 shore	EVA kunststof	Fontys	Puzo	lichtgeel	15	50	50
35	Digisole EVA30	Digisole EVA 30 shore	EVA kunststof	Fontys	Puzo	heel licht grijs	15	50	50
36	Digisole EVA40	Digisole EVA 40 shore	EVA kunststof	Fontys	Puzo	grijs	15	50	50
37	Digisole EVA50	Digisole EVA 50 shore	EVA kunststof	Fontys	Puzo	donker grijs	15	50	50
38	Digisole EVA60	Digisole EVA 60 shore	EVA kunststof	Fontys	Puzo	antraciet	15	50	50
39	Softlux	Softlux wit 35 Shore A	EVA kunststof	Fontys	Puzo	wit	15	50	50

Meting 1: Dichtheid

MATERIAAL BEWERKING

Uit de platen materiaal zijn 6 blokjes gezaagd of geknipt van 35 bij 35 mm. Uitzondering hierbij zijn die materialen die in kleinere hoeveelheid beschikbaar zijn: Materiaalnr. 11. Perskurk PKR (Amorim), 18. Polypropyleen (OttoBock) en de materialen 24 t/31 van Frecoma. Deze zijn onbewerkt gemeten.

METHODE

De blokjes zijn genummerd 1 t/m 6.

Het gewicht van de blokjes of het materiaal is bepaald door wegen op een Mettler balans, met een nauwkeurigheid van 0,01 g.

De afmetingen van het blokje of het materiaal zijn bepaald door nameten met een schuifmaat, met een nauwkeurigheid van 0,05 mm. Omdat knippen en snijden niet altijd even recht gaat is er soms verschil tussen bovenzijde en onderzijde van een blokje of tussen linker en rechterzijde van een kant. Waar dat zo is, zijn beide zijden opgemeten en genoteerd, wat dan 2 waarden van lengte of breedte geeft.

Metingen zijn uitgevoerd bij kamertemperatuur in het laboratorium R1 0.196. Er zijn geen extra maatregelen genomen om temperatuur of luchtvochtigheid te controleren.

VERWERKING MEETDATA

Data zijn verwerkt in Excel.

Het volume van elk blokje is bepaald door middel van de formule: $V=LxBxH/1000$

Met V = volume [cm³]

L =Lengte [mm]

B =Breedte [mm]

H =Hoogte [mm]

Waar 2 waardes van breedte of lengte zijn gemeten is het gemiddelde van deze waarden genomen via de formule $L_{gem}=(L1+L2)/2$ of $B_{gem}=(B1+B2)/2$ en is deze gemiddelde waarde gebruikt in de formule: $V=L_{gem}x B_{gem}x H/1000$.

De dichtheid van het materiaal is bepaald door per blokje het gemeten gewicht te delen door het volume via de formule: $Dichtheid=M/V*1000$

Met Dichtheid [kg/m³]

M =massa [g]

V =volume [cm³]

Per materiaal wordt de gemiddelde dichtheid berekend via de formule voor het rekenkundige gemiddelde van de argumenten en de standaard deviatie van dat gemiddelde. Hiervoor worden de statistische functies in Excel gebruikt.

RESULTATEN

De resultaten zijn te vinden in de Excel-file "Metingen.xlsx". Een overzicht van de gevonden gemiddelde dichtheden en standaard deviaties is te vinden in tabel 2.

Meting 2: Hardheid

MATERIAALBEWERKING

Voor de bepaling van de hardheid zijn dezelfde blokjes van 35 bij 35 mm en dezelfde materialen gebruikt als bij Meting 1.

METHODE

De hardheid is bepaald door een materiaal onder een Shore A hardheidsmeter te leggen, de hardheidsmeter gedurende 10 seconden ingedrukt te houden en vervolgens de hardheid af te lezen en te noteren. Dit is gedaan voor beide zijden van elk materiaal.

VERWERKING MEETDATA

Data zijn verwerkt in Excel. Per materiaal wordt de gemiddelde hardheid per zijde berekend via de formule voor het rekenkundige gemiddelde van de argumenten en de standaard deviatie van dat gemiddelde. Hiervoor worden de statistische functies in Excel gebruikt.

RESULTATEN

De resultaten zijn te vinden in de Excel-file "Metingen.xlsx". Een overzicht van de gevonden gemiddelde hardheden en standaard deviaties is te vinden in tabel 2.

Tabel 2. Resultaten meting 1. Dichtheid en meting 2. Hardheid, vs leveranciergegevens

Nr	Naam	Leveranciergegevens			Meetwaarden			Differ ence Dens.	Differ ence Hardn.	
		dikte mm	Density kg/m ³	Hardness Shore A	Density2 kg/m ³	STDEV.P 2	Hardness Shore A			STDEV.P2
1	Dyafoam	3	240	12	236	2,7	31	0,2	2%	160%
1	Dyafoam	6	240	12	244	1,6	3	0,5	2%	77%
2	PPT	3			377	2,4	21	0,3		
2	PPT	6			352	7,6	12	6,6		
3	EVA25	3			154	3,8	29	0,5		
4	EVA35	10,6			271	3,3	42	1,0		
5	EVA50	5,1	300	60	250	3,8	47	1,2	17%	21%
6	EVA60	10			294	5,1	54	1,3		
7	Multiform	10	140	30	141	2,0	28	0,9	1%	8%
8	Microkurk	5	400	70	505	4,9	68	1,6	26%	3%
9	Microkurk	10	200	50	249	4,2	49	2,4	24%	2%
10	Perskurk	10	620	65	620	19,0	55	2,0	0%	16%
11	Perskurk	5			211	2,2	53	3,5		
12	Poro	10			471	2,1	70	0,8		
13	Poro	6			327	7,8	57	1,3		
14	Plastazote	10	45	60	42	0,9	13	0,6	7%	78%
15	Erkoflex	3	950	82	914	11,4	74	2,4	4%	9%
16	Rhenoflex	1,6			1080	10,5	88	0,6		
17	Rubber	4		65	973	10,2	65	4,1		1%
18	Polypropyleen	5	950		927	27,5	89	0,0	2%	
19	Voering kalfsleer	1			486	26,3	53	1,8		
20	Sportvoering chroomg	1			600	10,1	24	0,0		
21	Microfibre	0,8			382	0,0	27	0,0		
22	Plastazote geel	15	45	60	38	0,4	12	0,3	16%	80%
23	Plastazote groen	15	33	58	29	0,2	8	0,2	13%	86%
24	Carbon	2			1752	0,0	89	0,0		
25	Rhenoflex RX3172	1,5			1112	0,0	89	0,0		
26	Rhenoflex RX5432	0,8			1204	0,0	87	0,0		
27	Rhenoflex RX3205	1,8			987	0,0	85	4,0		
28	Rhenoflex RX5052	1,1			1115	0,0	88	0,3		
29	Thermo200	2			667	0,0	87	2,0		
30	Imperfirm	1,2			1025	0,0	87	0,5		
31	Imperflex	1			1062	0,0	85	0,5		
32	Thermofix	15	330	50	451	1,1	51	1,8	37%	2%
33	Alveolux	15	140	30	145	1,6	29	2,2	3%	4%
34	Digisole EVA20	15		20	146	1,7	22	1,7		9%
35	Digisole EVA30	15		30	213	2,3	36	1,4		21%
36	Digisole EVA40	15		40	174	0,8	38	1,3		6%
37	Digisole EVA50	15		50	210	0,8	46	1,2		9%
38	Digisole EVA60	15		60	250	2,5	52	1,6		14%
39	Softlux	15	180	35	213	2,7	34	3,7	18%	3%

DISCUSSIE EN CONCLUSIES DICHTHEID EN HARDHEIDSMETINGEN

De waarde voor de dichtheid is voor veel van de geteste materialen (26 van de 39) moeilijk te achterhalen bij de leverancier. Voor die materialen waarvoor dat wel het geval is (13 st) komen de dichtheidsmetingen goed overeen (verschil <10%, 6 st) of liggen in dezelfde ordegrootte (verschil <20%, 4 st). Uitzonderingen zijn materiaal 8.Microkurk, 400 vs 505, 9.Microkurk 200 vs 249, en 32.Thermofix, 330 vs 451. In al deze gevallen is de gemeten dichtheid hoger dan de opgegeven

dichtheid. Een mogelijke verklaring zou kunnen zijn onnauwkeurigheden in de meetmethode. Omdat we in dit geval om praktische redenen uit zijn gegaan van kleine materiaalmonsters is de meetonnauwkeurigheid groter dan wanneer we grote volumes hadden gemeten. Echter, de goed overeenkomende resultaten bij 6 materialen spreken dit eigenlijk tegen. Bij de Thermofix plaat, waarvan de leeftijd en opslaggeschiedenis onduidelijk is, zou het kunnen zijn dat het materiaal wat is ingeklonken, waardoor het een hogere dichtheid heeft gekregen. De microkurk (Felkor50 en Felkor70) materialen zijn een mengsel van natuurkurk met EVA. Een mogelijke verklaring daar zou kunnen zijn dat de dichtheid van het natuurlijke kurk product varieert, waardoor de opgegeven dichtheid niet heel exact is. Dit is ook terug te zien in de grote variatie in de metingen van het natuurkurk-product.

De waarde voor de hardheid is voor 17 van de 39 materialen opgegeven door de leverancier. Voor 10 materialen komen de hardheidsmetingen goed overeen, verschil <10% en voor 4 materialen liggen ze in dezelfde ordegrootte, verschil <21%. Opvallend is het verschil in de opgegeven en gemeten hardheid voor de 3 plastazotes (ca 60 vs ca 10). De leveranciergegevens vermelden dat de hardheid bepaald is volgens ISO 868 1985. In deze norm staat voor zachte materialen het meten van de hardheid met een durometer overeenkomstig de Shore A durometer. Het enige verschil is de methode: "If a delay is not reported, the hardness value is the instantaneous hardness (within 1 second", terwijl de door ons gebruikte meetmethode een 10 seconden delay heeft aangehouden. Dit is in lijn met de ervaringsgegevens van het gebruik van plastazote, dat het makkelijk indrukbaar is en zich vormt. Een hardheid van 60 zoals opgegeven door de leverancier, zou dat niet vermoeden.

Verder wordt bij de materialen met materiaal dikte 3 mm een relatief hoge hardheid gemeten. Dit komt waarschijnlijk vanwege het 'bottom-out' effect. De materiaaldikte is te dun om een nauwkeurige hardheidsmeting te doen. De hardheidsmeter drukt door het materiaal heen, hierdoor zijn deze meetwaarden niet betrouwbaar.

Concluderend kan gesteld worden dan de metingen een bruikbare indicatie geven van dichtheid en hardheid van de materialen.

Meting 3. Compressie curves

MATERIAAL BEWERKING

Voor het meten van de compressiecurves zijn dezelfde blokjes materiaal van 35 bij 35 mm gebruikt als bij Meting 1. Compressiecurves zijn bepaald voor de indrukbare materialen 1 t/m 15, 17, 22, 23 en 32 t/m 39.

METHODE

DIN EN ISO 7214 schrijft voor dat compressie testen moeten worden uitgevoerd volgens ISO 3386-1 met een compressiesnelheid van 50% van de initiële monster-dikte per minuut. De compressie-spanning moet gemeten worden gedurende de eerste compressie op 10%, 25% en 50% vervorming.

De testen zijn uitgevoerd op Lloyds Instruments Technex EZ trekbank, met besturingssoftware NEXYGEN Plus 3.0. Het te testen materiaalblokje wordt geplaatst tussen 2 pluñjers met diameter van 32 mm. Per materiaal is de compressiesnelheid ingesteld op 50% van de materiaaldikte. Wanneer de materiaaldikte kleiner is dan 10 mm, zijn 2 tot 4 blokjes materiaal op elkaar gestapeld om die dikte te bereiken. Verdere instellingen: Preload 3 N, Preload speed 60 mm/min, # cycles 3, compressie tot 50% van oorspronkelijke dikte.

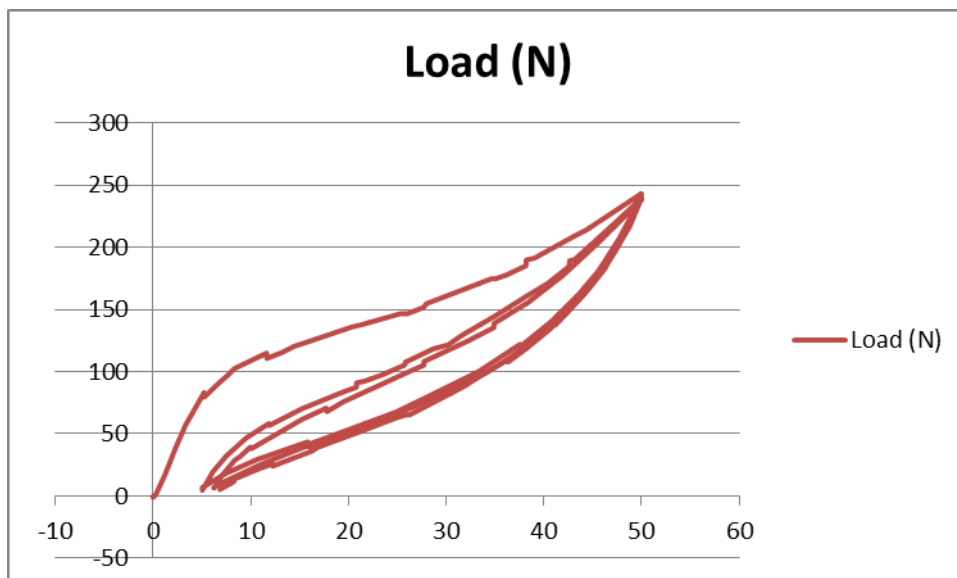
Per materiaal is slechts 1 meting uitgevoerd, in verband met tijdsbeperking.

DATAVERWERKING

Uit het software programma bij de trekbank zijn per meting de tijd (s), load (N), extension (mm) strain en percentage gegevens opgeslagen voor 16.000 datapunten per meting. Dit is het maximum aantal datapunten dat het Trekbank software programma kan exporteren per meting.

Met behulp van Excel is hiermee een stress-strain curve gemaakt zoals in figuur 1.

Figuur 1. Stress-strain curve voor Multiform.



Met de zoekfunctie “verticaal zoeken” zijn uit de datapuntentabel de krachten bepaald die horen bij de indrukking van 10%, 25% en 50%. Deze kracht wordt vertaald naar een druk door te delen door het oppervlak van de plunjer 804,247 mm² ($=\frac{\pi}{4} * 32^2$).

Het oppervlak onder de curve is een maat voor de arbeid benodigd voor het indrukken van het materiaal. Dit oppervlak is numeriek berekend door voor dat traject de som te nemen van alle oppervlakken per data-interval, berekend als de gemiddelde load per datapunt-interval vermenigvuldigd met de grootte van het datapunt-interval. In Excel: Work i-j=((Load, i +Load, j))/2 * (Extension, j – Extension, i)). Omdat er zoveel datapunten zijn, heeft dit voldoende nauwkeurigheid.

Omdat 3 compressiecycli zijn gemeten kan de arbeid tijdens compressie en relaxatie en de netto arbeid van de eerste 3 compressiecycli worden bepaald. Omdat de materialen niet allemaal dezelfde dikte hebben is de arbeid omgerekend naar de arbeid benodigd voor een mm³ compressie door de arbeid te delen door de compressiedikte bij 50% (mm) x het oppervlak van de plunjer (mm²).

RESULTATEN

De resultaten zijn te vinden in de Excel-file “Compressie1.xlsx”. Een overzicht van de gemeten compressie-drukken bij 10%, 25% en 50% indrukking, arbeid benodigd voor compressie in eerste en 2^{de} cyclus en geabsorbeerde energie is te vinden in tabel 3.

Tabel 3. Resultaten compressiemetingen

Nr	Naam	monster #	dikte2 mm	Compr speed mm/min	Pressure at 10% kPa	Pressure at 25% kPa	Pressure at 50% kPa	Work c 1 J/mm ³	Work c 2 J/mm ³
1	Dyafoam	1+2	12	6	12	24	36	20	19
2	PPT	3+4	12	6	34	66	143	69	56
3	EVA25	1+2	6	3	113	163	265	155	107
4	EVA35	4	10,6	5,3	310	404	604	364	216
5	EVA50	3+4	10,2	5,1	309	469	759	436	279
6	EVA60	4	10	5	538	754	1239	720	419
7	Multiform	3	10	5	135	181	302	182	133
8	Microkurk		10	5	1	1264	2356	1066	473
9	Microkurk	3	10	5	433	598	942	572	244
10	Perskurk	3	10	5	460	1069	2330	966	
11	Perskurk	3+4	10	5	287	632	1298	621	337
12	Poro	3	10	5	941	1556	2186	1252	0
13	Poro	3+4	12	6	1044	1324	2251	1393	645
14	Plastazote	3	10	5	50	71	132	75	52
15	Erkoflex	1+2+3+4	12	6	813	2158		770	0
17	Rubber	5+6	12	6	942	2403		590	0
22	Plastazote geel	3	15	7,5	51	73	135	76	47
23	Plastazote groen	4	15	7,5	43	62	118	64	42
32	Thermofix	4	15	7,5	149	522	955	477	317
33	Alveolux	4	15	7,5	139	195	325	194	146
34	Digisole EVA20	3	15	7,5	66	109	218	111	85
35	Digisole EVA30	4	15	7,5	175	264	471	262	184
36	Digisole EVA40	4	15	7,5	255	328	497	318	176
37	Digisole EVA50	4	15	7,5	361	484	743	476	293
38	Digisole EVA60	4	15	7,5	533	726	1076	680	372
39	Softlux	3	15	7,5	206	286	461	282	192

10 Perskurk en 12 Poro gecompriemd tot 40%, 15 Erkoflex gecompriemd tot 15%.

VERGELIJK MET WAARDEN UIT LITERATUUR EN VAN LEVERANCIERS

In het tussenrapport 'Onderzoek naar de eigenschappen en gebruik van materialen in de orthopedische schoen technologie' staat een overzicht van compressiewaarden uit de literatuur. De materialen die zijn gemeten en de manier van meten verschilt van studie tot studie. Om toch enigszins een onderling vergelijk mogelijk te maken is per materiaal een P/C waarde berekend door de druk (in kPa) te delen door de compressie (in %). Dit is slechts 1 waarde op een niet lineaire curve en geeft daarom slechts een zeer ruwe indicatie. In de literatuur gevonden waarden zijn gegroepeerd naar chemische samenstelling van het materiaal, waarbij geen rekening is gehouden met de fysische structuur die sterk van invloed kan zijn op de compressibiliteit. De fysische structuur verschilt vaak per materiaal-merknaam en gegevens daarover zijn moeilijk te achterhalen. Hierdoor is er een grote spreiding tussen de gevonden waarden van P/C in de literatuur.

In tabel 4. Staat een vergelijking van de gemeten waarden en waarden van vergelijkbare materialen uit de literatuur. Referenties verwijzen naar referenties in het tussenrapport.

Tabel 4. Vergelijk gemeten waarden compressie met literatuurgegevens

Nr	Naam	P/C at max press.	Literatuur		Ref.
			Min P/C	Max P/C	
1	Dyafoam	0,7	2,2	12	34,31,44
2	PPT	2,9	2,2	12	34,31,44
3	EVA25	5,3	4	30	45,31,34,9
4	EVA35	12,1	4	30	45,31,34,9
5	EVA50	15,2	4	30	45,31,34,9
6	EVA60	24,8	4	30	45,31,34,9
7	Multiform	6,0	4	30	45,31,34,9
8	Microkurk	47,1	14,7	35,7	34
9	Microkurk	18,8	14,7	35,7	34
10	Perskurk	58,3	14,7	35,7	34
11	Perskurk	26,0	14,7	35,7	34
12	Poro	54,6	16,5	147	42
13	Poro	45,0	16,5	147	42
14	Plastazote	2,6	0,4	12,9	44,45,41
17	Rubber	96,1	16,5	147	42
22	Plastazote geel	2,7	0,4	12,9	44,45,41
23	Plastazote groen	2,4	0,4	12,9	44,45,41
32	Thermofix	19,1	4	30	45,31,34,9
33	Alveolux	6,5	4	30	45,31,34,9
34	Digisole EVA20	4,4	4	30	45,31,34,9
35	Digisole EVA30	9,4	4	30	45,31,34,9
36	Digisole EVA40	9,9	4	30	45,31,34,9
37	Digisole EVA50	14,9	4	30	45,31,34,9
38	Digisole EVA60	21,5	4	30	45,31,34,9
39	Softlux	9,2	4	30	45,31,34,9

Tabel 5. Vergelijk gemeten waarden compressie met leveranciergegevens

Nr	Naam	P/C at max press.	Productnaam	Leverancier			P/C at max press.
				Druk(compr)	Druk(compr)2	Druk(compr)3	
				kPa (%)	kPa (%)	kPa (%)	
1	Dyafoam	0,7	Poron SRVerySoft Red(84)	2 (25%)	24 (25%)		1,0
2	PPT	2,9	PPT Medical			360 (56,1%)	6,4
10	Perskurk	58,3	Rubberkurk	2758(35%)	2758(50%)		55,2
14	Plastazote	2,6	Plastazote LD45	97 (10%)	94 (25%)	170 (50%)	3,4
22	Plastazote geel	2,7	Plastazote LD45	97 (10%)	94 (25%)	170 (50%)	3,4
23	Plastazote groen	2,4	Plastazote LD33	51 (10%)	69 (25%)	137 (50%)	2,7

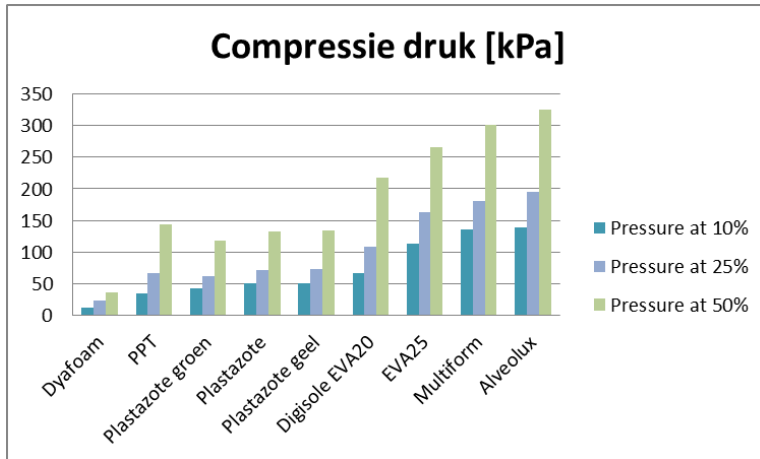
Voor PPT Medical is de waarde omgerekend uit de aanname dat de Cushion Factor CF gemeten bij 360 kPa gelijk is aan de relatieve compressie $(d/h) \cdot g$ (9,8 m/s²)

DISCUSSIE EN CONCLUSIES METING COMPRESSIECURVES

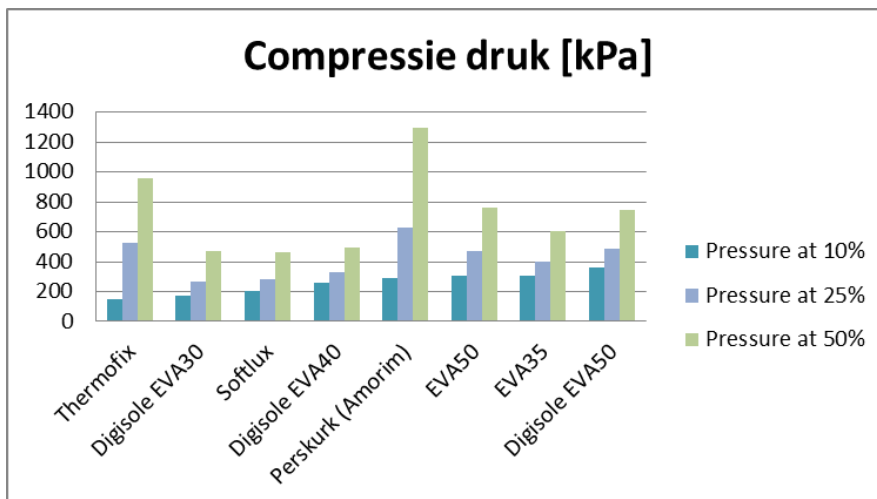
Compressiecurves geven inzicht in het gedrag van een materiaal tijdens compressie. Voor de meeste gemeten materialen is het verband tussen druk en indrukking niet lineair. Uitzondering hierbij zijn Erkoflex en rubber, die een vrijwel lineair verband tussen compressie en indrukking geven tot een compressie van respectievelijk 15% en 40%.

In figuur 2. zijn de compressiedrukken weergegeven gesorteerd naar benodigde druk voor 1ste compressie.

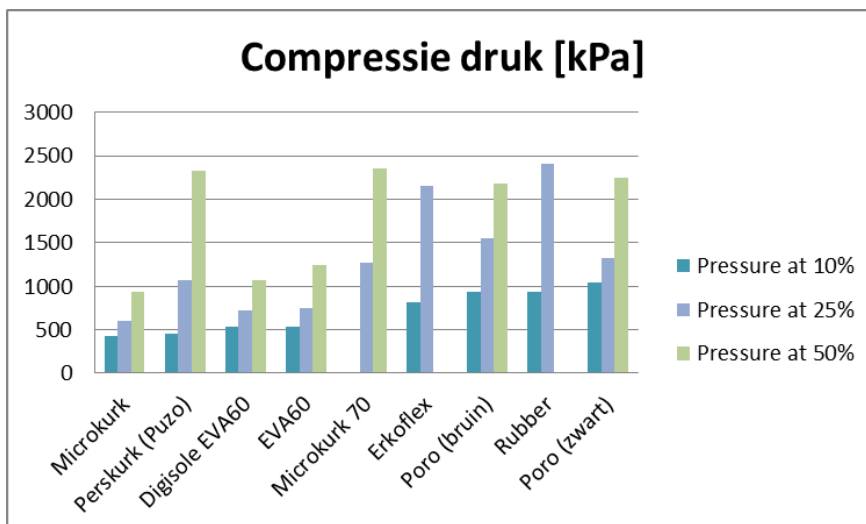
Figuur 2. Benodigde druk voor compressie voor : a. 'zachte' materialen,



b. 'middelharde' materialen,



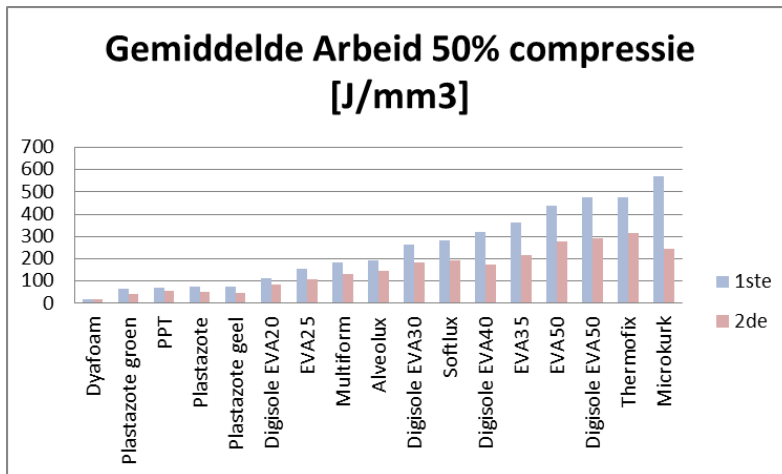
c. 'harde' materialen



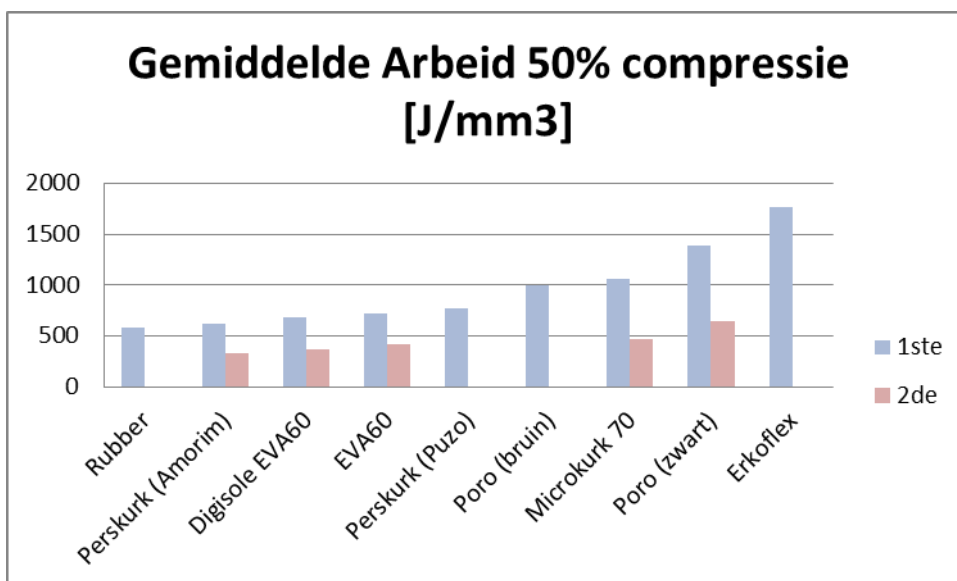
In figuur 3a en 3b. staat de gemiddelde arbeid benodigd voor 50% compressie¹ weergegeven als de totale arbeid gedeeld door het gecompriëerde volume, voor de eerste en de tweede compressie, gesorteerd naar oplopende arbeid.

Figuur 3. Gemiddelde arbeid benodigd voor 50% compressie, eerste en 2^{de} cyclus,

a. "Zachte" en "middelharde" materialen



b. "harde" materialen



In alle gevallen kost de 2^{de} cyclus van indrukking veel minder kracht dan de eerste, zie figuur 3. Gemeten waarden liggen in dezelfde orde van grootte als die opgegeven door leveranciers, tabel 5, (alleen beschikbaar voor Plastazote, Dyafoam, PPT en rubberkurk) en die gevonden in de literatuur, tabel 4. De waarden in de literatuur lopen echter dermate uiteen dat dit niet zoveel zegt over de validiteit van de meting.

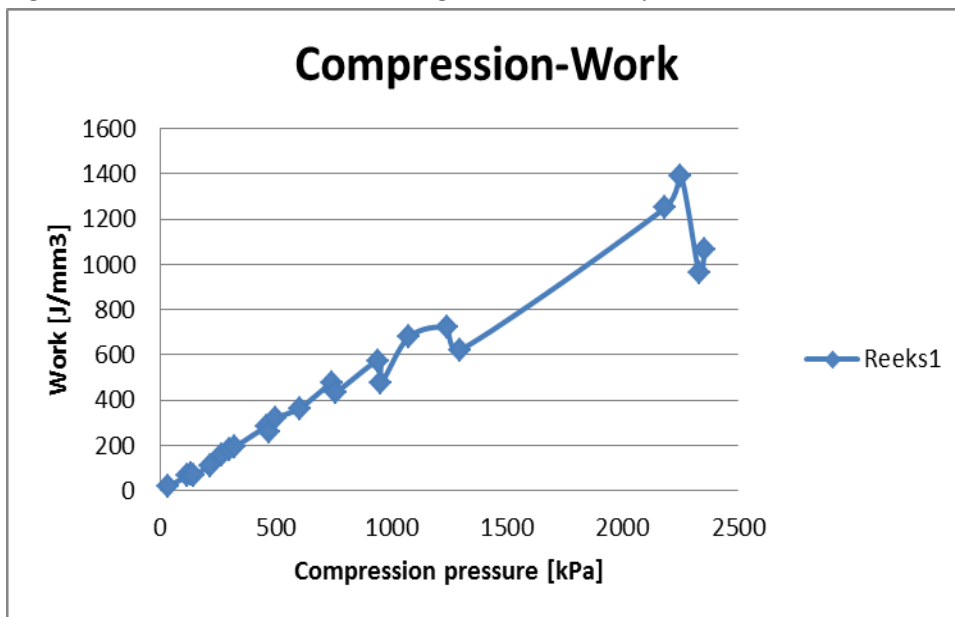
Op deze wijze verkregen curves zouden gebruikt kunnen worden om onbekende materialen te karakteriseren. Uit de verkregen curves zou bijvoorbeeld geconcludeerd kunnen worden dat de plastazote, waarvan de herkomst niet geheel duidelijk is, waarschijnlijk dezelfde is als plastazote geel

¹ 15. Erkoflex tot 15%, 10. Perskurk, en 12. Poro tot 40%

en dat Multiform hetzelfde is als Alveolux. Volgens de leverancier opgave is Plastazote geel gelijk aan Plastazote LD45, echter de pressure-curve meetgegevens komen meer overeen met die opgegeven worden voor Plastazote LD33.

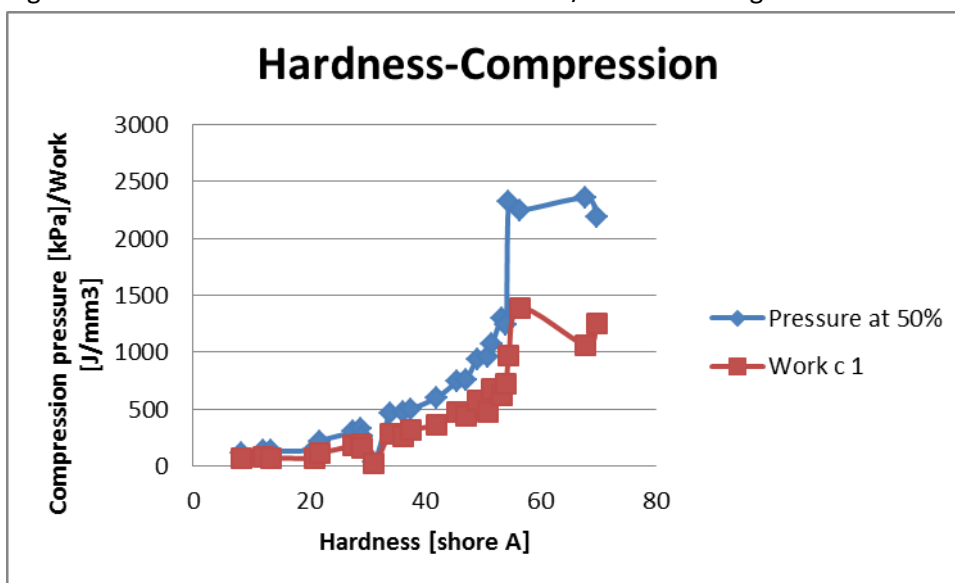
De gemeten materialen zijn te rangschikken naar oplopende indrukbaarheid of kracht benodigd voor dezelfde mate van indrukking. Dit geeft voor 50% compressie vrijwel dezelfde rangorde als wanneer de materialen gerangschikt worden naar arbeid benodigd voor 50% compressie, zie figuur 4.

Figuur 4. Relatie tussen druk benodigd voor 50% compressie en arbeid.



Ter vergelijking is gekeken of er eenzelfde relatie bestaat tussen compressiedruk en gemeten Shore hardheid. Er is wel een soort vergelijking mogelijk, materialen met een hogere shore hardheid hebben meestal ook een hogere druk nodig voor 50% compressie, maar de relatie is niet lineair en gaat niet voor alle materialen op.

Figuur 5. Relatie tussen Shore hardheid en druk/arbeid benodigd voor 50% compressie



Meting 4: Hysterese / Duurzaamheid in cyclische belasting

MATERIAAL BEWERKING

Voor het meten van de hysterese zijn dezelfde blokjes materiaal van 35 bij 35 mm gebruikt als bij Meting 1. Compressiecurves zijn bepaald voor de indrukbare materialen 1 t/m 15, 17, 22, 23 en 32 t/m 39.

METHODE

De testen zijn uitgevoerd op Lloyds Instruments Technex EZ trekbank, met besturingssoftware NEXYGEN Plus 3.0. Het blokje wordt geplaatst tussen 2 plunjers met een diameter van 32 mm. Bij de proefopzet is gekozen voor een maximale druk van 350 kPa, om dichtbij een realistische piekdruk gedurende normaal lopen te blijven. Omgerekend naar een oppervlak van 804 mm², komt dat neer op een kracht van ca. 280 N. Volgens Brodsky heeft de cadans van normaal lopen een frequentie van 1 Hz. Dit is voor de beschikbare trekbank te snel. Afhankelijk van het materiaal is in eerste instantie gekozen voor compressiesnelheden van 60, 180, 30 of 10 mm/min, waarbij de snelheid zo hoog mogelijk is gekozen in relatie tot de hardheid van het materiaal en wat de trekbank aan kan. In 2^{de} instantie voor de materialen 22, 23 en 32 t/m 39 is gekozen voor een instelling van 350 kPa/s.

Per materiaalmonster zijn 100 cycli uitgevoerd. Wanneer de materiaaldikte kleiner is dan 10 mm, zijn meerdere blokjes materiaal op elkaar gestapeld om minimaal deze dikte te bereiken. Verdere instellingen: Preload 3 N, Preload speed 60 mm/min.

Per materiaal is slechts 1 meting uitgevoerd, in verband met tijdsbeperking.

DATAVERWERKING

Uit het software programma bij de trekbank zijn per meting de tijd (s), load (N) en extension (mm) gegevens opgeslagen voor 16.000 datapunten per meting. Dit is het maximum aantal datapunten dat het Trekbank software programma kan exporteren per meting.

Met behulp van Excel is hiermee een stress-strain curve gemaakt zoals in figuur 6.

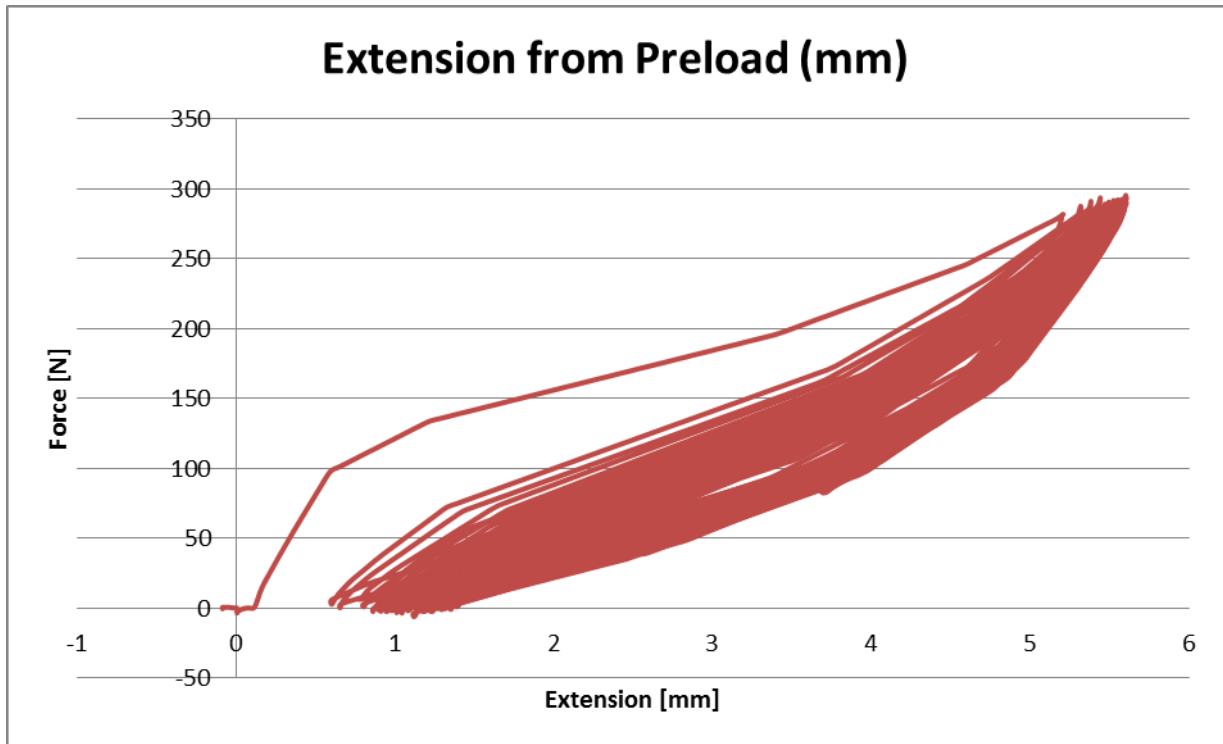
Daarnaast is er een time-extension curve gemaakt zoals in figuur 7. Deze geeft een realistisch beeld van de vervorming bij herhaaldelijk indrukken in de tijd.

Begin en eind van eerste, tweede en 100ste cyclus zijn numeriek in de excel-tabel opgezocht. Van deze cycli zijn de minimum load en extension en de maximum load en extension bepaald met behulp van de vertikaal zoeken functie van Excel.

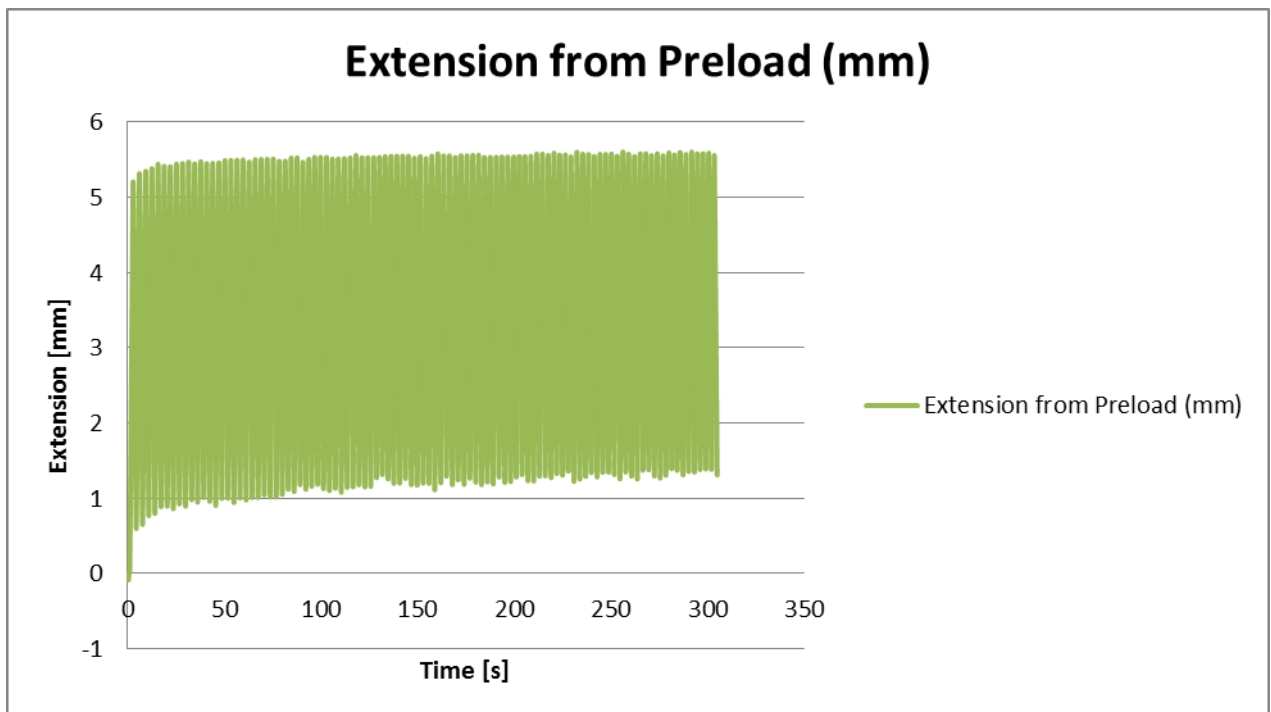
Het oppervlak onder de curve is een maat voor de arbeid benodigd voor het indrukken van het materiaal. Dit oppervlak is numeriek berekend door voor een traject de som te nemen van alle oppervlakken per data-interval, berekend als de gemiddelde load per datapunt-interval vermenigvuldigd met de grootte van het datapunt-interval. In Excel: $Work_{i-j} = ((Load_{i,j} + Load_{j,i}) / 2) * (Extension_{j,i} - Extension_{i,j})$. Omdat er zoveel datapunten zijn, heeft dit voldoende nauwkeurigheid.

Voor elke eerste, tweede en 100^{ste} cyclus is de arbeid tijdens compressie en relaxatie op deze wijze bepaald en de opgenomen energie berekend uit het verschil tussen deze twee.

Figuur 6. Hysterese stress-strain curve voor Multiform



Figuur 7. Hysterese time-extension curve voor Multiform



RESULTATEN HYSTERESE / DUURZAAMHEID IN CYCLISCHE BELASTING

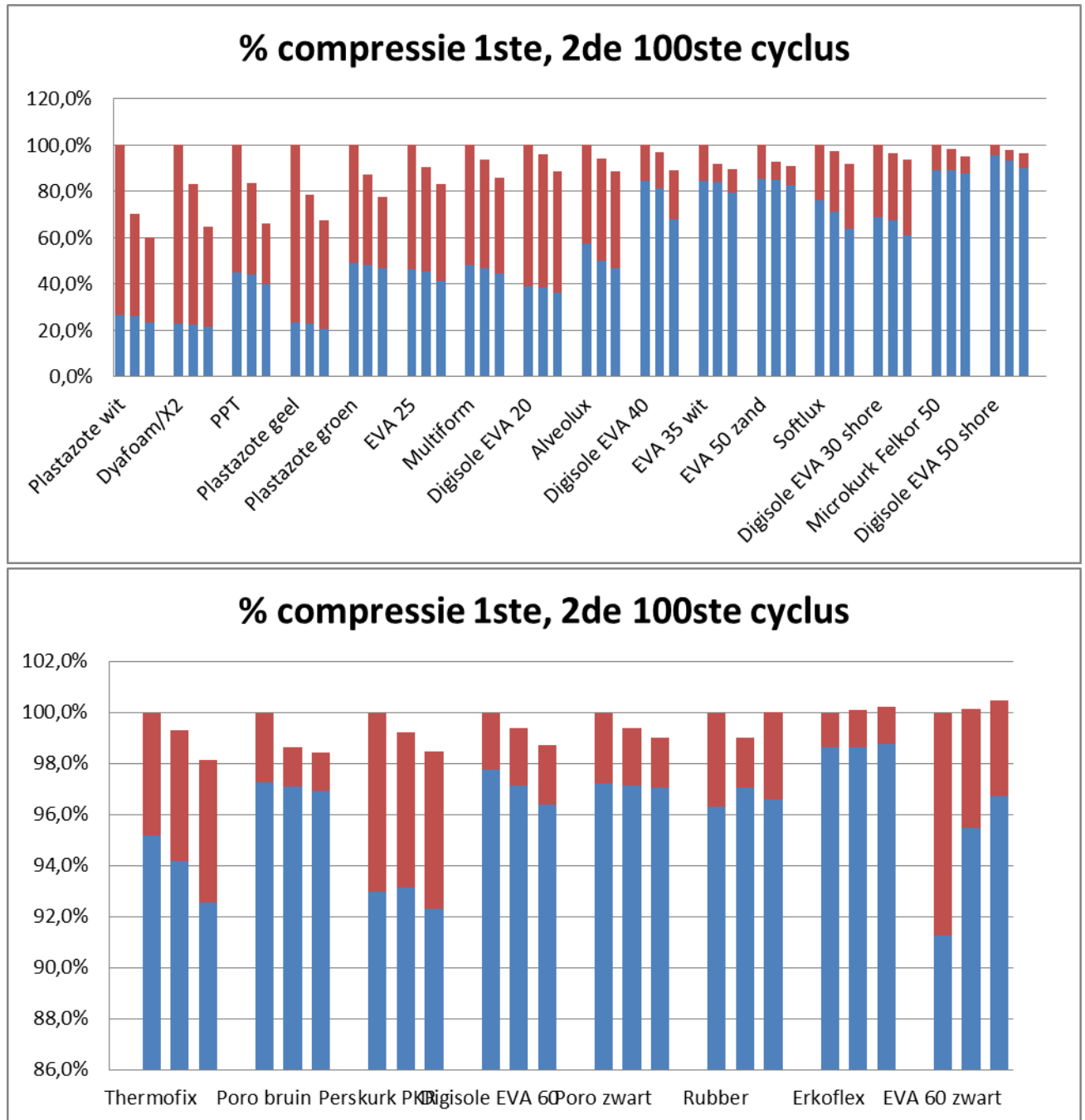
De resultaten van de hysteresemetingen staan in de excel-file Hysteresemetingen.xlsx. Een overzicht van de extensies in cyclus 1, 2 en 100 en de compressiearbeid en opgenomen energie in cyclus 1, 2 en 100 is te vinden in tabel 6.

Tabel 6. Resultaten hysteresemetingen

Nr	Naam	Monster #	Speed mm/min	Cycle 1 start mm	Cycle 1 Compr mm	Cycle 2 start mm	Cycle 2 Compr mm	Cycle 100 Start mm	Cycle 100 Compr mm	c100 vs c2 Start	c100 vs c2 Compr	c100 vs c2 %	c1 Work compr Nmm	c1 absorbed	c2 work compr Nmm	c2 work compr abs	c100 work compr Nmm	c100 absor bed2	%100 tov 2
1	Dyafoam	3+4	180	0,00	9,23	2,03	7,27	4,21	5,20	30%	-28%	521	59%	422	52%	348	50%	80%	
2	PPT	5+6	180	-0,08	6,59	1,99	4,73	4,06	3,15	44%	-33%	687	45%	501	33%	325	22%	45%	
3	EVA25	3+4+5+6	180	0,00	6,45	1,15	5,37	2,02	4,99	16%	-7%	994	45%	732	27%	583	19%	55%	
4	EVA35	6	60	0,00	1,64	0,88	0,83	1,09	1,06	26%	29%	145	36%	127	24%	155	17%	88%	
5	EVA50	5+6	60	-0,01	1,46	0,70	0,81	0,89	0,86	23%	6%	133	32%	126	24%	126	15%	63%	
6	EVA60	6	30	0,00	0,87	-0,01	0,47	-0,05	0,38	-7%	-19%	75	22%	69	19%	56	10%	44%	
7	Multiform	6	180	0,01	5,20	0,65	4,66	1,39	4,16	16%	-11%	881	47%	676	31%	516	24%	58%	
9	Microkurk	6	60	0,00	1,09	0,17	0,93	0,48	0,74	34%	-20%	193	50%	146	38%	113	27%	54%	
10	Perskurk	6	60	-0,04	0,70	0,08	0,61	0,15	0,62	13%	1%	96	23%	89	17%	87	9%	49%	
12	Poro	6	10	0,02	0,27	0,14	0,15	0,16	0,15	14%	-4%	22	13%	19	4%	19	3%	65%	
13	Poro	5+6	10	0,00	0,33	0,07	0,27	0,12	0,24	15%	-10%	36	23%	35	15%	32	8%	49%	
14	Plastazote	5	180	0,00	7,34	2,97	4,43	4,00	3,66	23%	-17%	734	48%	478	18%	395	10%	45%	
15	Etkoflex	3+4+5+6	10	0,00	0,16	-0,01	0,17	-0,03	0,18	-10%	3%	20	-7%	22	-3%	21	-6%	208%	
17	Rubber	5+6	30	0,00	0,44	0,00	0,43	0,00	0,41	0%	-5%	49	17%	50	17%	47	11%	64%	
22	Plastazote geel	4	180	0,01	11,49	3,20	8,36	4,87	7,06	20%	-15%	1262	45%	870	22%	713	11%	40%	
23	Plastazote groen	6	21	0,00	7,65	1,89	5,86	3,39	4,61	26%	-21%	814	45%	605	26%	475	16%	49%	
32	Thermofix	5	21	0,10	0,72	0,10	0,77	0,28	0,84	23%	9%	140	32%	122	20%	132	14%	78%	
33	Alveolux	6	21	0,89	6,36	0,89	6,59	1,68	6,30	12%	-4%	1407	49%	1019	34%	788	24%	54%	
34	Digitsole EVA20	6	21	0,01	9,17	0,59	8,63	1,72	7,87	13%	-9%	1230	35%	949	19%	758	10%	41%	
35	Digitsole EVA30	6	21	-0,14	4,70	0,57	4,32	0,98	4,85	10%	12%	874	50%	729	36%	613	21%	50%	
36	Digitsole EVA40	6	21	0,10	2,35	0,50	2,32	1,65	3,17	50%	37%	468	55%	413	42%	432	26%	66%	
37	Digitsole EVA50	6	21	0,23	0,67	0,31	0,71	0,54	0,93	33%	31%	128	36%	129	32%	150	22%	79%	
38	Digitsole EVA60	6	21	0,07	0,34	0,09	0,34	0,19	0,35	31%	1%	54	20%	52	17%	50	14%	79%	
39	Softlux	4	21	0,37	3,59	0,43	3,89	1,21	4,25	20%	9%	829	52%	688	37%	585	24%	56%	

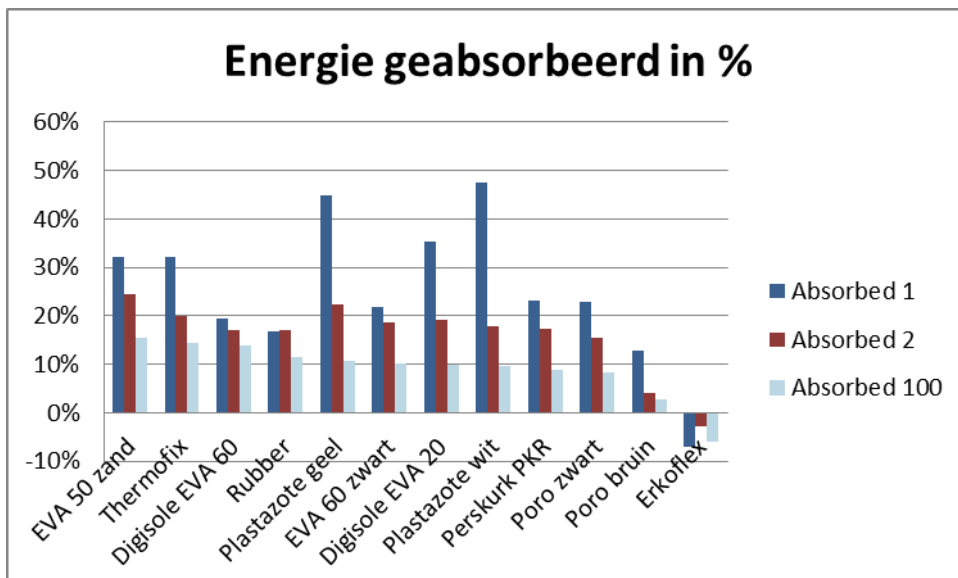
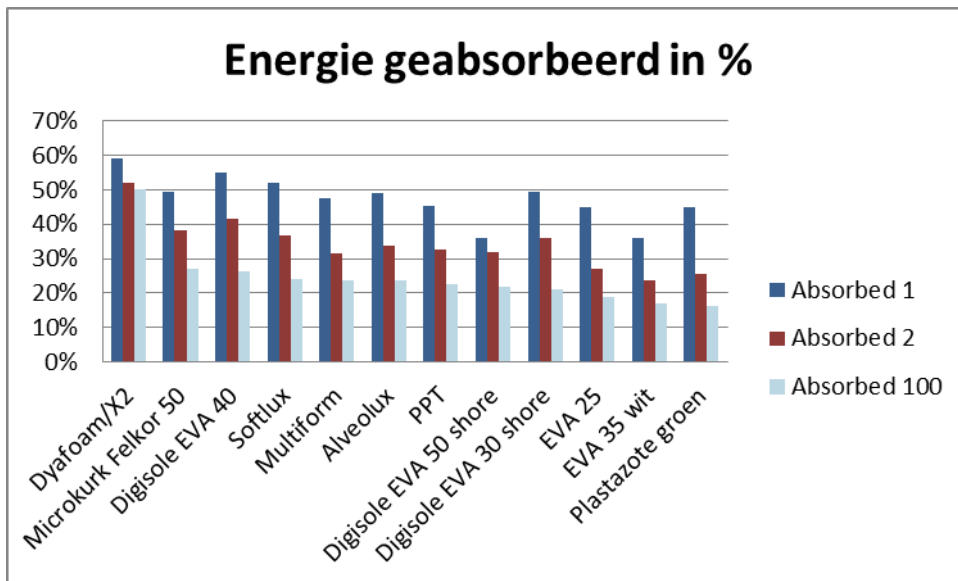
In figuur 8 is het verschil in compressie in 1^{ste}, 2^{de} en 100^{ste} cyclus uitgezet voor de verschillende materialen, alsmede het verloop van het 0-punt. De materialen zijn gerangschikt naar compressie in de 100^{ste} cyclus.

Figuur 8. Compressie-verschil in cyclus 1, 2 en 100 en verloop



In figuur 9 staat de geabsorbeerde energie in 1^{ste}, 2^{de} en 100^{ste} cyclus weergegeven. De materialen zijn gerangschikte naar energie absorptie in de 100^{ste} cyclus.

Figuur 9. Geabsorbeerde energie in 1^{ste}, 2^{de} en 100^{ste} cyclus



DISCUSSIE RESULTATEN HYSTERESE METINGEN EN CONCLUSIES

De hysteresemetingen laten zien hoe het gedrag van een materiaal bij compressie verandert na cyclische belasting. Vrijwel alle geteste materialen komen niet terug in hun uitgangspositie bij cyclische belasting (blijven enigszins ingedrukt), wat te zien is aan de hoogte van het minimum extensiepunt bij cyclus 100 (Min100 in figuur 8). Uitzondering hierop zijn de harde materialen EVA 60 en rubber en ErkoFlex. Het effect hiervan op de volgende compressie is echter niet bij alle materialen hetzelfde. Bij sommige materialen neemt de mate van indrukking sterk af tussen 1^{ste} en 100^{ste} cyclus (o.a. Plastazote, Dyafoam, PPT), bij andere blijft de mate van indrukking vrijwel gelijk (o.a. Softlux, Digisole EVA 40). Mogelijk heeft dit ook te maken met het verschil in snelheidsinstelling van de trekbank (350 kPa/s vs 60-180 mm/min). Hoewel de mate van indrukking in mm's bij deze materialen in de 100^{ste} cyclus vrijwel gelijk is als aan de eerste cyclus, geldt dit niet voor de hoeveelheid geabsorbeerde energie. Deze loopt eigenlijk bij alle materialen sterk terug, met uitzondering van

Dyafoam. Dit materiaal blijft ook na 100 cycli zijn energie-absorberende eigenschappen behouden. Opvallend genoeg geldt dat in veel mindere mate voor het vergelijkbare materiaal PPT.

Wellicht is er ook een effect van de aanvangs-materiaaldikte op het resultaat van deze metingen. Er is namelijk een sterk vermoeden dat plastazote wit, hetzelfde materiaal is als plastazote geel, oftewel PLastazote LD45 en ook dat Multiform hetzelfde materiaal is als Alveolux. De compressie eigenschappen en energieabsorptie eigenschappen bij cyclische belasting vertonen echter verschillen. Mogelijk komt dit door het verschil in materiaaldikte (10 mm vs 15 mm). Een andere mogelijke verklaring zijn meetonauwkeurigheden, aangezien deze metingen door tijdgebrek slechts in enkelvoud zijn uitgeoefend.

Wat verder opvalt is dat een groot deel van de energie-absorberende eigenschap verloren gaat tussen de eerste en de tweede cyclus. Het lijkt erop dat de eerste cyclus niet representatief is voor het gedrag van een materiaal op de wat langere termijn. Dit komt overeen met de bevindingen van Brodsky et al. [1]. Hij vindt ook sterk teruglopende % compressie na de eerste cyclus en in de eerste 10.000 cycli van Nickelplast en Medium Plastazote (28%) Nickelplast en Poron (32%), Nickelplast en Spenco (22%), Plastazote en P-Cell (24%) en Medium Plastazote met Soft Plastazote (24%). De combinatie met Poron (=Dyafoam) behield het best haar drukreducerende eigenschappen. Bij de hier geteste materialen is Dyafoam ook het beste in staat haar energie-absorberende eigenschappen te behouden, beter dan bijvoorbeeld Plastazote en veel EVA's. Overigens wordt in het artikel van Brodsky gezegd dat Poron hetzelfde is als PPT. Als dat zo is, is de hier geteste PPT wellicht gelijk aan Poron van een andere kwaliteit, gezien de verschillen die gemeten worden tussen PPT en Dyafoam.

De Lange [2] heeft de hysteresis bepaald van veel in steunzolen gebruikte materialen. Deze is gedefinieerd als de verhouding tussen de oppervlakte tussen de heen en teruggaande curve en de oppervlakte onder de heengaande curve. Dit is hetzelfde als de in dit rapport gedefinieerde 'door het materiaal geabsorbeerde energie'. Hij vindt na 10 cycli van 500 kPa (10 mm/s) waarden van ca 30% voor de geteste materialen (PPT, EVA, rubber-kurk). De in dit rapport gevonden waarden zijn tussen de 20% en 25% voor vergelijkbare materialen na 100 cycli. Gezien de terugloop gedurende meerdere cycli en het feit dat hij een hogere druk heeft toegepast, kan dat als vergelijkbaar verondersteld worden.

De mate van compressie kan worden weergegeven als % van de oorspronkelijke dikte of als mm indrukking. Het nadeel van de huidige weergave in % is dat er geen gevoel is voor de dikte of benodigde dikte van een materiaal. De grootste indrukking bij een "normale" belasting (350 kPa) wordt gemeten bij Plastazote geel, een in indrukking van bijna 12 mm, op een proefstuk van slechts 15 mm dik. Dit geeft aan dat een plastazotelaag een behoorlijke dikte moet hebben om geen 'bottom-out' effect te vertonen.

De metingen bevestigen het beeld dat plastazote bij normale belasting sterk indrukt en snel haar energie-absorberende eigenschappen verliest, terwijl Dyafoam (Poron) met vergelijkbare indrukbaarheid haar energieabsorberende eigenschappen blijft behouden. De metingen bieden perspectief om onbekende materialen te karakteriseren of te ranken in relatie tot al bekende materialen.

Meting 5: Elasticiteit door middel van de Trekproef

MATERIAAL BEWERKING

Voor de trekproef zijn per materiaal trekstaafjes uit het materiaal gestanst met afmetingen volgens DIN-EN ISO527-3 type 5, behalve voor het harde carbon-achtige materiaal Duralite. Van het Duralite-materiaal zijn trekstaven uitgesneden met afmetingen volgens DIN-EN ISO527-2 stab 1A. De trekproef is uitgevoerd voor de materialen genoemd in tabel 1, met een dikte kleiner dan 15 mm. Voor de dikkere materialen was het niet mogelijk trekstaven te maken. Ook materiaal 18. Polypropyleen, is uitgezonderd omdat daar de materiaalfmetingen niet toereikend waren.

METHODE

De testen zijn uitgevoerd op Lloyds Instruments Technex EZ trekbank, met besturingssoftware NEXYGEN Plus 3.0. De trekstaaf wordt aan boven en onderzijde vastgeklemd. Vervolgens gaat de bovenste arm bewegen met constante snelheid en wordt extensie en benodigde kracht gemeten tot breuk. Voor de harde materialen 24 t/m 31, 15 en 17 is de ingestelde snelheid 20 mm/min. Voor de overige materialen is de snelheid 500 mm/min overeenkomstig ISO1798.

Andere instellingen: ISO527-2 stab 1A breedte 6 mm, lengte 40 mm, dikte per materiaal verschillend. 18. Carbon (Duralite): ISO527-3 type 5 breedte 10 mm, lengte 80 mm, dikte 2 mm. Voor de meeste materialen zijn de proeven in 6-voud uitgevoerd. Bij enkele materialen is daar door gebrek aan voldoende materiaal van afgeweken.

DATAVERWERKING

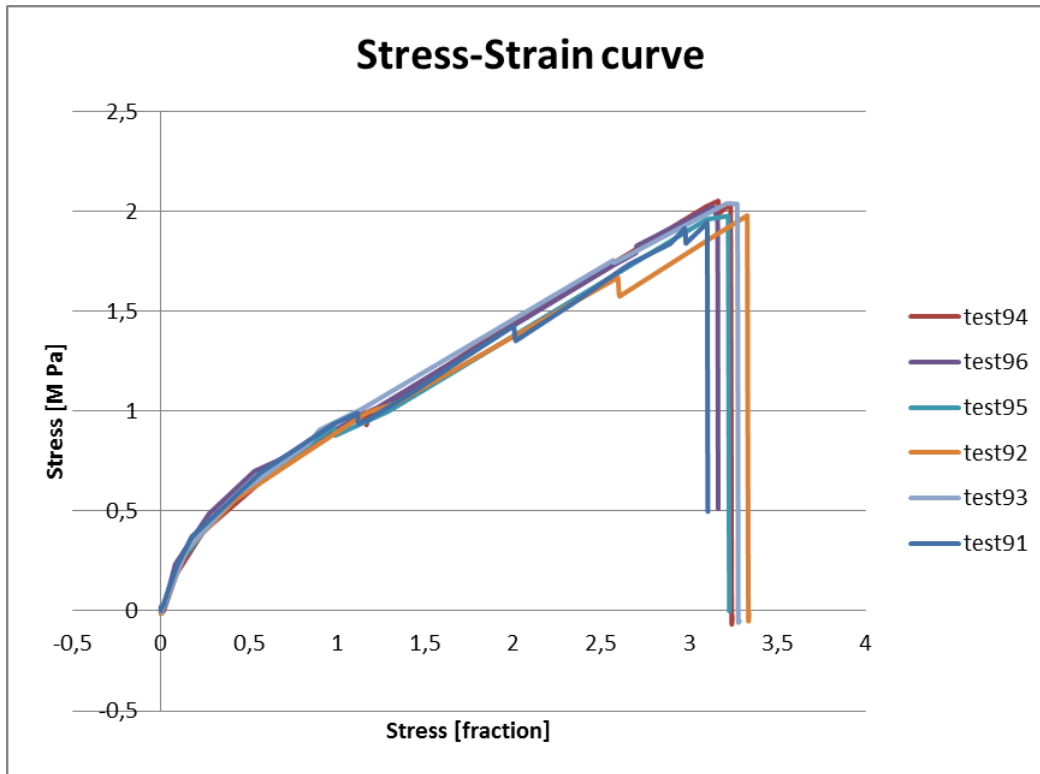
Uit het software programma bij de trekbank zijn per meting de tijd (s), load (N), extension (mm), Stress (MPa), strain, percentage en Gauge length (mm) gegevens opgeslagen voor 1.000 datapunten per meting. In Excel is hiervan per meting een stress-extension curve gemaakt, zoals in figuur 10.

Vervolgens is een trendlijn geconstrueerd door 2 punten op de curve te kiezen en de richtingscoëfficiënt van een lijn tussen deze punten te bepalen. Dit is gedaan door een x1 en x2 punt te kiezen, bijbehorende y1 en y2 punten te zoeken met behulp van de functie "verticaal zoeken" en de richtingscoëfficiënt te berekenen via $(x2-x1)/(y2-y1)$. De trendlijn is opgemaakt voor het eerste, sterkst stijgende deel van de curve. De richtingscoëfficiënt is genomen als maat voor de treksterkte van het materiaal. Per materiaal is de gemiddelde treksterkte en de standaarddeviatie van het gemiddelde berekend.

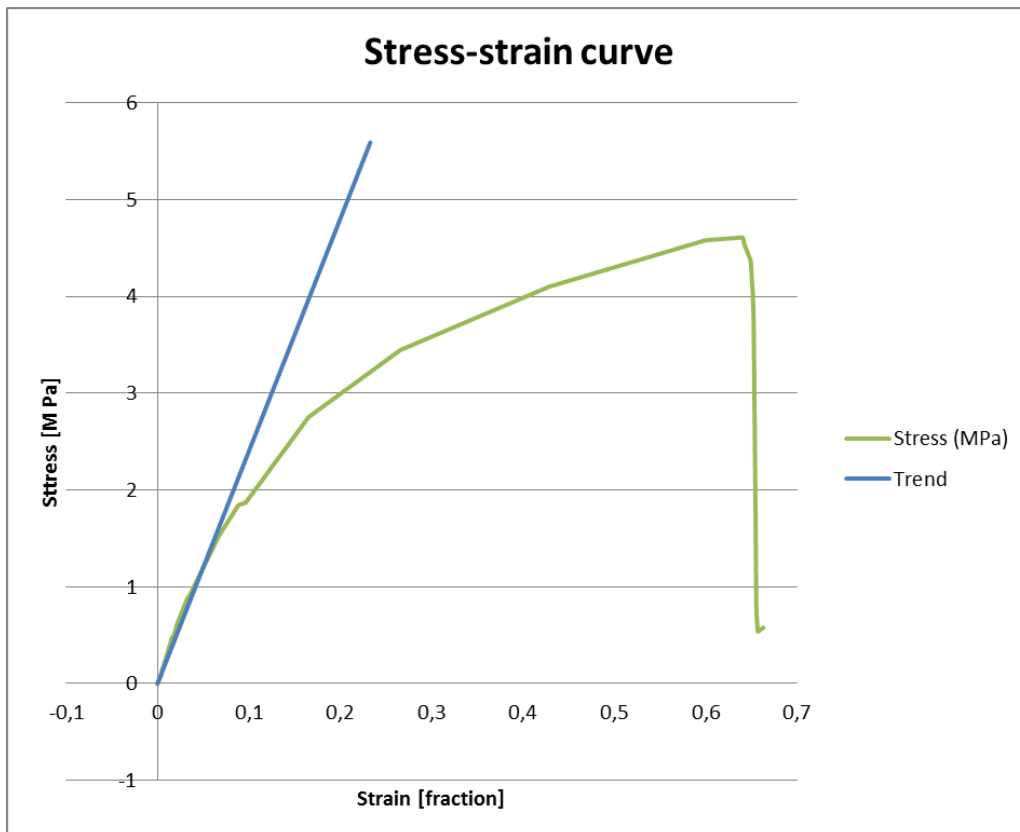
Ook is per materiaal de maximale treksterkte bepaald met behulp van de zoekfunctie =GROOTSTE in de tabel met stress-waarden en de bijbehorende strain met behulp van de functie verticaal zoeken. Per materiaal is de gemiddelde maximale stress-waarde, maximale strain-waarde en de standaarddeviatie van dat gemiddelde berekend.

Voor 3 Rhenoflex materialen zijn trekstaven in 2 oriëntaties gemaakt A horizontaal, B verticaal, C onder een schuine hoek van 45°, om te kijken of daar verschil tussen is. Rubber en Erkoflex hebben 2 duidelijke fasen in hun stress-strain curve met verschillende richtingscoëfficiënt.

Figuur 10. Stress-strain curves van Multiform



Figuur 11. Stress-strain curve met trendlijn (Poro bruin)



RESULTATEN TREKPROEVEN

De resultaten van de trektesten staan in de files Trek_RhenoflexA.xlsx, Trek_Erkoflex.xlsx, Trektesten3009.xlsx en Trektesten_deel2.xlsx. Een overzicht van de resultaten is weergegeven in tabel 7.

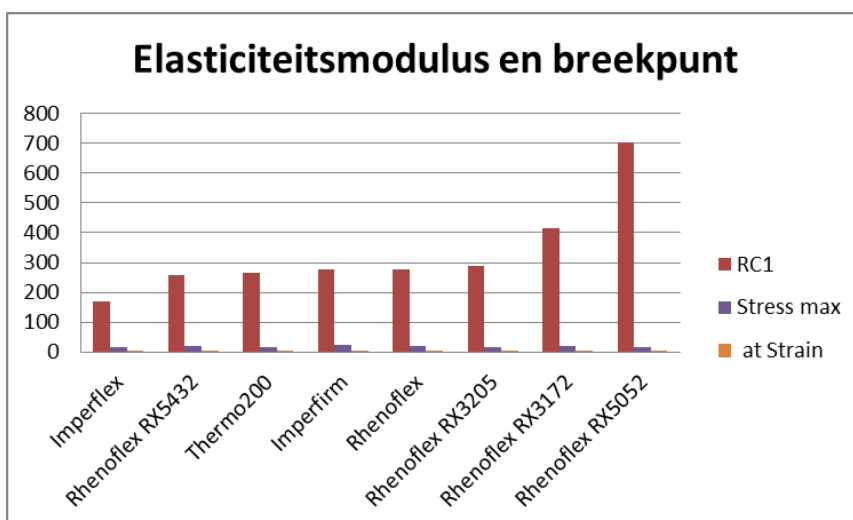
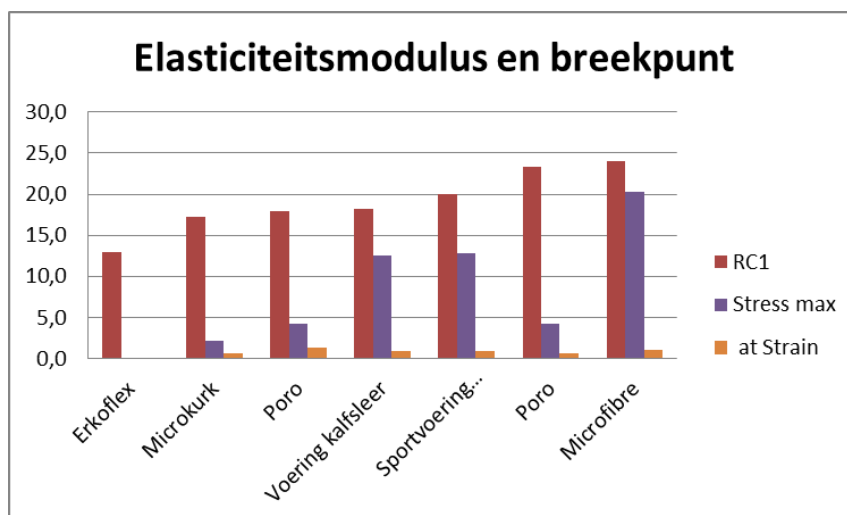
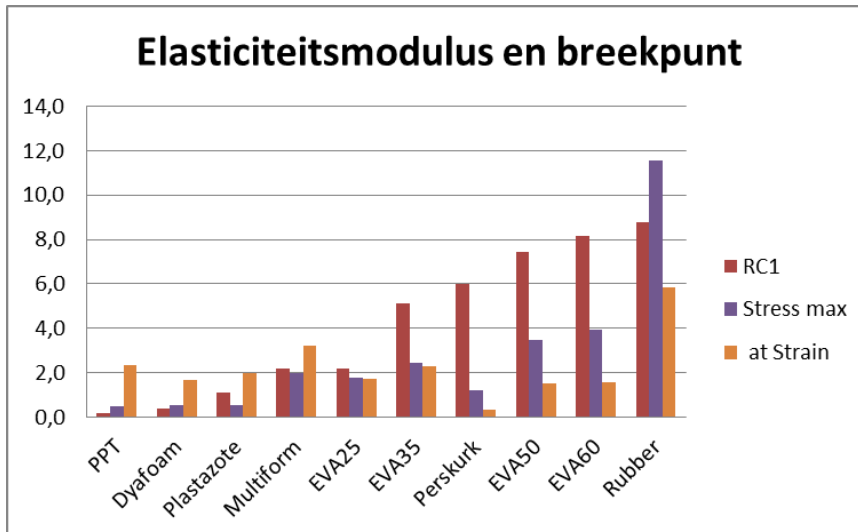
Tabel 7. Overzicht resultaten trekproeven

Naam	RC1	stdev	Stress max	stdev2	at Strain	stdev3
	M Pa		M Pa			
Dyafoam	0,4	0,04	0,6	0,02	168%	25%
PPT	0,2	0,1	0,5	0,04	236%	13%
EVA25	2,2	0,2	1,8	0,06	174%	6%
EVA35	5,1	0,3	2,5	0,04	231%	3%
EVA50	7,4	0,9	3,5	0,13	151%	16%
EVA60	8,2	1,0	3,9	0,09	156%	4%
Multiform	2,2	0,2	2,0	0,04	319%	7%
Microkurk	17,3	1,8	2,2	0,17	64%	7%
Perskurk	6,0	0,3	1,2	0,07	36%	5%
Poros	23,3	0,5	4,3	0,39	63%	3%
Poros	17,9	1,6	4,3	0,09	129%	8%
Plastazote	1,1	0,3	0,55	0,02	197%	6%
Erkoflex	13,0	0,3	NVT	NVT	NVT	NVT
Rhenoflex	279	44	20	0,9	23%	1%
Rubber	8,8	0,6	12	0,4	582%	39%
Voering kalfsleer	18,2	1,0	13	0,5	93%	8%
Sportvoering chromog	20,1	1,5	13	0,6	91%	5%
Microfibre	24,0	1,5	20	1,1	108%	5%
Carbon	7101	410	290	29,7	6%	0%
Rhenoflex RX3172	414	42	20	1,2	16%	1%
Rhenoflex RX5432	259	29	19	0,8	12%	8%
Rhenoflex RX3205	287	48	15	1,1	7%	2%
Rhenoflex RX5052	703	57	18	0,3	7%	7%
Thermo200	266	58	14	3,1	19%	2%
Imperfirm	278	27	24	0,5	22%	1%
Imperflex	171	12	15	0,4	22%	1%
Rhenoflex A	279	44	20	0,9	23%	1%
Rhenoflex C	271	42	12	0,5	13%	2%
Rhenoflex RX3172 A	414	42	20	1,2	16%	1%
Rhenoflex RX3172 B	361	17	20	1,2	12%	9%
Rhenoflex RX3205 A	287	48	15	1,1	7%	2%
Rhenoflex RX3205 B	332	46	12	0,4	6%	1%

Materiaal 15 Erkoflex breekt niet, zelfs niet na een verlenging tot 14x de oorspronkelijke lengte. Rubber en Erkoflex hebben 2 duidelijke fasen in hun stress-strain curve met verschillende richtingscoëfficiënt met een knikpunt bij respectievelijk (3,5 MPa, 40%) en (2 MPa, 30%). Beide zijn bepaald, alleen de eerste (hoogste) is in deze tabel weergegeven. In figuur 12 zijn de

elasticiteitsmodulus en breekpunt gegevens van de materialen in kolommen weergegeven, gerangschikt naar oplopende elasticiteitsmodulus. 18. Carbon is hier buitengelaten omdat de waarden hiervan in een andere schaalgrootte vallen.

Figuur 12. Elasticiteitsmodulus en breekpunt van materialen



De oriëntatierichting bij Rhenoflex-materialen lijkt wel verschil te maken, maar het verschil is niet erg groot.

In tabel 8 zijn de hier gevonden waarden vergeleken met opgegeven waarden van leveranciers voor vergelijkbare materialen.

Tabel 8. Vergelijk met waarden van leveranciers

Nr	Naam	kleur	Productnaam	Meetwaarde		Leverancier	
				Stress max	at Strain	Tensile strength	Elongation
				M Pa		M Pa	
1	Dyafoam	roze	Poron SRVerySoft Red(84)	0,6	168%	0,1	120
4	EVA35	gebroken wit	Aeroflex 35	2,5	231%	2,5	190
5	EVA50	zandkleurig	Aeroflex 50	3,5	151%	3,3	220
9	Microkurk	grijsbeige	Corcho_kurk Allegro 138	2,2	64%	2,5	220
10	Perskurk	Kurkbruin	Rubberkurk	1,2	36%	0,93	
14	Plastazote	wit	Plastazote LD45	0,55	197%	0,56	175

DISCUSSIE EN CONCLUSIES

Op basis van treksterkte is onderscheid te maken tussen verstevigingsmaterialen (E modulus > 100 MPa) en opbouw, dempings- en afdekmaterialen. In literatuur en leverancier-gegevens is weinig terug te vinden over de E-modulus, trekspanning bij breuk en verlenging bij breuk. Voor afdekmaterialen wordt hier soms verwezen naar ISO1421-Rubber- or plastics-coated fabrics - Determination of tensile strength and elongation at break. Deze standaard was bij het doen van de metingen niet voorhanden. Het verdient aanbeveling om bij een vervolgstudie deze standaard als leidraad te hanteren.

Voor die materialen waarvoor wel leverancier-gegevens beschikbaar zijn, komen de meetgegevens aardig overeen met de leverancier-gegevens. Bij Dyafoam worden lagere meetgegevens gevonden, maar onduidelijk is welke kwaliteit Poron overeen komt met het geteste materiaal. Er zijn vele verschillende kwaliteiten Poron op de markt, met verschillende eigenschappen.

Carbon (Duralite) is het "sterkste" materiaal in de zin dat het de meeste kracht kost om dit materiaal te verlengen (E modulus > 7000 MPa) en te laten breken (290 MPa en 6% verlenging). Het materiaal is getest voordat het zijn verwarmings- en vervormingsbehandeling heeft ondergaan. De materiaaleigenschappen van dit materiaal zullen door de verwarming en vervorming zeker veranderen en het verdient aanbeveling om dit in een verdere studie nader te onderzoeken.

Meting 6: Driepunts-buigsterkte

MATERIAAL BEWERKING

Voor de bepaling van de buigsterkte zijn materiaal staven van 80 bij 15 mm uitgesneden of geknipt, met uitzondering van bij polypropyleen. Bij dit laatste materiaal is de afmeting van het plaatje gebruikt zoals verkregen: 33,6 bij 101 mm. De buigtesten zijn uitgevoerd bij alle materialen uit tabel 1, met uitzondering van de zachte materialen die uit zichzelf al ombuigen zoals: 1. Dyafoam, 2 PPT, de voeringmaterialen 19, 20 en 21, materiaal 15. Erkoflex en de van Frecoma verkregen harde materialen 24 t/m 29, waarvan niet meer voldoende materiaal aanwezig is om de testen te kunnen uitvoeren. De testen zijn zoveel mogelijk uitgevoerd in 4-voud.

METHODE

De testen zijn uitgevoerd op Zwick/Roell trekbank, met besturingssoftware. De uitvoering van de test is volgens EN ISO 178:2003. De materiaalstaaf wordt op twee ondersteunende parallelle dragers gelegd die 60 mm uit elkaar liggen met een afgeronde bovenkant, radius 10 mm. Vervolgens komt in het midden van de staaf een plunjer naar beneden, met een radius van 5,0 mm, die druk gaat uitoefenen, waardoor de staaf doorbuigt. De snelheid van de plunjer is ingesteld op 10 mm/min. Overige instellingen: Preload: 2 N, Preload speed 5 mm/min, time to preload 60 s.

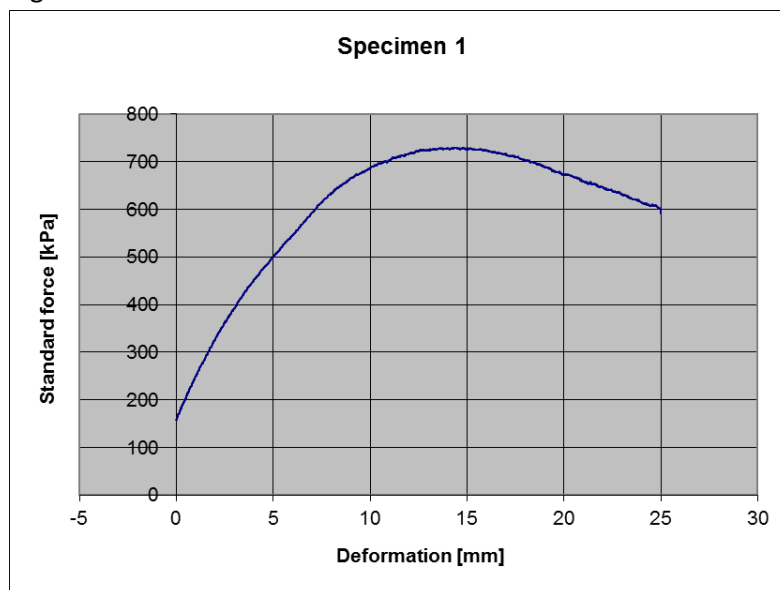
DATAVERWERKING

De besturingssoftware maakt per specimen een Deformation [mm] vs Force [kPa] curve en berekent de maximale Force en bijbehorende maximale verplaatsing, zie figuur 13. De "flexural stress" druk wordt berekend uit de kracht [N] met de formule: $\sigma_f = \frac{3*F*L}{2*b*h^2}$

Met σ_f = buig druk [Pa], F = kracht [N], L= spanne tussen dragers 60 mm, b=breedte specimen 15 mm, h=dikte van het specimen.

De data zijn per monster geëxporteerd naar Excel.

Figuur 13. Force-Deformation curve en resultaten voor Multiform



	F _{max}	dL at F _{max}	a ₀	b ₀	S ₀
	kPa	mm	mm	mm	mm ²
Specimen 1	729,9627	14,39173	10	15	150
Specimen 2	730,9909	13,89403	10	15	150
Specimen 3	674,4258	13,66071	10	15	150
Specimen 4	600,901	14,1984	10	15	150

De bijbehorende “flexural strain” is berekend middels de formule:

$$\varepsilon_f = \frac{6 * s * h}{L^2}$$

Met ε_f = flexural strain bij force f, L= spanne tussen dragers 60 mm, h=dikte van het specimen [mm] en s= deflectie dL [mm].

Vervolgens is de Flexural modulus bepaald door de richtingscoëfficiënt van de curve te bepalen tussen $\varepsilon_f=0,0005$ en $\varepsilon_f=0,0025$ conform ISO 178. Voor h=15 mm komt dat overeen met dL=0,02 mm en 0,1 mm, 2 punten in het begin van de curve bij het sterkst stijgende deel. Bijbehorende flexural stress-waarden zijn met behulp van de functie verticaal zoeken uit de data bepaald en de flexural modulus is berekend door de formule:

$$E_f = \frac{\sigma_{f2} - \sigma_{f1}}{\varepsilon_{f2} - \varepsilon_{f1}}$$

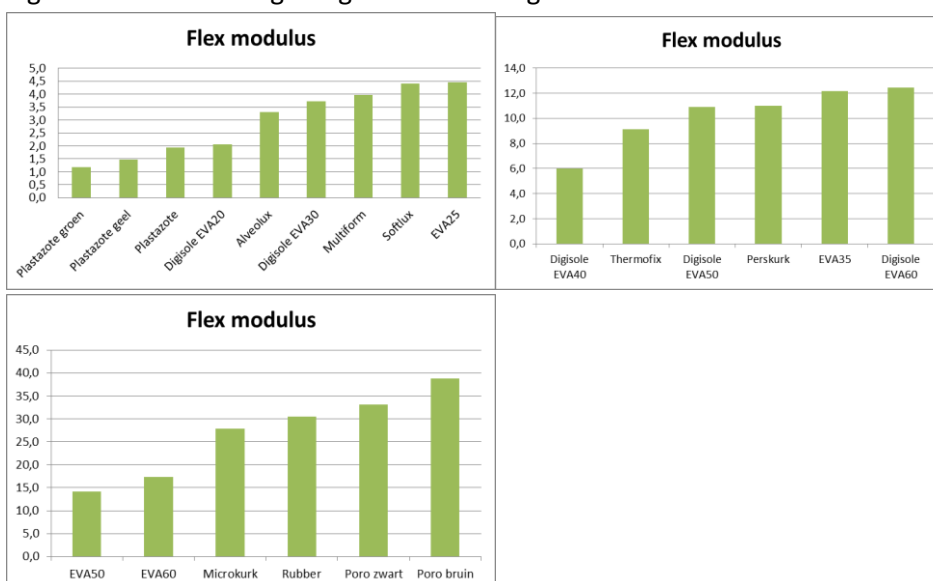
Voor materiaal 18. Polypropyleen is de flexibiliteitsmodulus door het softwareprogramma berekend.

Voor elk materiaal is de gemiddelde Maximum Flexural Stress, bijbehorende Flexural strain en Flexural Modulus bepaald en de standaarddeviatie van dit gemiddelde.

RESULTATEN

De resultaten staan in de Excelfile buig1.xlsx. Een overzicht van de resultaten is gegeven in tabel 9. In figuur 14 zijn de materialen, met uitzondering van Rhenoflex en Polypropyleen weergegeven gerangschikt naar oplopende “Flexural modulus”.

Figuur 14. Materialen gerangschikt naar Buigbaarheidsmodulus



Tabel 9. Overzicht resultaten buigproeven

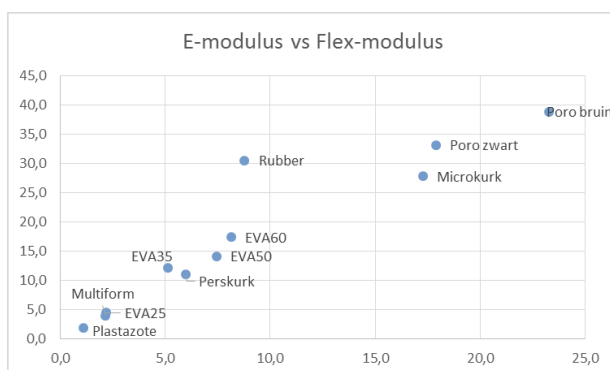
Nr	Naam	kleur	Flex stress max	StDev4	at strain	StDev5	Flex modulus	StDev6
3	EVA25	wit	562	20	8%	0,4%	4,5	0,3
4	EVA35	gebroken wit	1049	8	24%	0,4%	12,2	0,7
5	EVA50	zandkleurig	978	9	9%	0,6%	14,1	2,0
6	EVA60	zwart	1671	22	24%	0,3%	17,4	0,9
7	Multiform	zalm	468	10	23%	0,5%	4,0	0,3
9	Microkurk	grijsbeige	1587	41	24%	0,7%	27,8	0,8
10	Perskurk	Kurkbruin	1440	50	27%	0,2%	11,0	0,4
12	Porobruin	bruin	3708	97	25%	0,6%	38,8	1,8
13	Porozwart	zwart	1746	54	12%	0,3%	33,1	1,5
14	Plastazote	wit	195	7	28%	0,8%	1,9	0,3
16	Rhenoflex	wit	2,1E+04	6,2E+02	3%	0,1%	958,3	34,8
17	Rubber	zwart	1808	85	14%	0,3%	30,5	2,1
18	Polypropyleen	rood	6,95E+04	1,51	7%	0,1%	9,31E+05	0,0
22	Plastazote geel	geel	188	14	45%	1,8%	1,5	0,2
23	Plastazote groen	groen	149	5	44%	3,4%	1,2	0,1
32	Thermofix	bruin caramel	1580	46	46%	0,5%	9,1	0,3
33	Alveolux	zalm	534	25	48%	0,7%	3,3	0,1
34	Digisole EVA20	lichtgeel	330	17	48%	1,5%	2,1	0,1
35	Digisole EVA30	heel licht grijs	582	25	47%	0,9%	3,7	0,2
36	Digisole EVA40	grijs	698	95	45%	1,0%	6,0	0,8
37	Digisole EVA50	donker grijs	1475	137	50%	0,3%	10,9	0,9
38	Digisole EVA60	antraciet	1711	269	44%	1,3%	12,5	1,0
39	Softlux	wit	717	127	48%	0,7%	4,4	0,8

DISCUSSIE EN CONCLUSIES

Hoewel de buigbaarheid van een materiaal voor de orthopedische schoentechnologie een belangrijke parameter kan zijn, wordt deze niet opgenomen in materiaaleigenschappen van leveranciers of literatuur.

De rangschikking van materialen naar buigbaarheid geeft een vrijwel gelijke volgorde dan die naar Elasticiteitsmodulus, zie figuur 15. Dit is in lijn met de theorie dat stijfheid gerelateerd is aan de elasticiteits-modulus van het materiaal en de vorm. Voor axiale stijfheid geldt: $k=A \cdot E/L$, met A =oppervlak van de doorsnee, L =Lengte en E =Elasticiteitsmodulus.

Figuur 15. E-modulus versus Flex-modulus



Meting 7: Compression set

MATERIAALBEWERKING

Voor compression set is uitgegaan van de blokjes van 35 bij 35 mm zoals bij Meting 1. Compression set metingen zijn gedaan voor de dempingsmaterialen PPT, Dyafoam, Plastazote, Multiform EVA35 en Softlux

METHODE

Volgens ISO7214 en ISO1856. Materialen zijn gecomprimeerd tot 25% van hun originele dikte gedurende 22 uur in de Lloyds Instruments Technex EZ trekbank, met besturingssoftware NEXYGEN Plus 3.0. Vervolgens is de dikte gemeten onmiddellijk na het loslaten van de druk, na een half uur en na 24 uur herstelperiode. Dikte is opgemeten met een schuifmaat. Metingen zijn zoveel mogelijk uitgevoerd in 2-voud.

RESULTATEN

De resultaten zijn weergegeven in de excel-file compression_set.xlsx. Een overzicht van de resultaten is weergegeven in tabel 10.

Tabel 10. Herstel van materialen na 75% compressie gedurende 22uur

Material	Recovery 0	30min rec	24h rec	st.dev.
PPT	96,7%	98,3%	98,3%	
Dyafoam	98,3%	98,3%	100,0%	
Plastazote	33,2%	39,0%	61,0%	2,4%
Multiform	53,5%	65,9%	84,0%	1,2%
EVA35 wit	41,4%	50,2%	65,3%	2,3%
Softlux		48,0%	81,0%	1,9%

DISCUSSIE EN CONCLUSIE

De dempingsmaterialen PPT en Dyafoam laten snel herstel zien na 22 uur compressie, plastazote en EVA35 zijn dan nog behoorlijk ingedrukt en Multiform en Softlux zitten daar tussenin. De resultaten voor PPT komen overeen met literatuurgegevens. De Lange meet 100% recovery na 1 dag voor PPT en ook Campbell vindt dat Poron haar eigenschappen behoudt na langdurige belasting met een vermindering in dikte van 2% na 7 dagen 50% compressie. De Lange heeft ook gemeten aan Softlux, maar dat maar vervormd tot 82% van de oorspronkelijke dikte, waarna het na 24 uur tot 99% herstelt.

De compression set test geeft een beeld van de herstel capaciteit van een materiaal, maar de uitvoering, compressie tot 25% van de originele dikte, is voor veel materialen niet overeenkomstig de dagelijkse praktijk van belasting.

Metingen PFI Schokabsorptie

INLEIDING

In totaal zijn er 17 materialen naar PFI gestuurd. In tabel 11 vind je de paklijst van de verstuurd materialen.

Tabel 11. Paklijst materialen verstuurd naar PFI

No	Name	Thickness (mm)	#
1.	Rubber soles, black	6	3
2A.	Poro brown A5 sheets	10	3
2B.	Poro black A5 sheets	6	3
4	Erkoflex, transparent, A5 sheets	3	3
5.	EVA 25, white, A5 sheets	3	3
6.	EVA 35, off-white, A5 sheets	10	3
7.	EVA 50, sand, A5 sheets	5	3
8.	EVA 60, black, A5 sheets	10	3
11.	Perskurk, brown, A5 sheets	10	3
12.	Mircokurk, beige, A5 sheets	10	3
13.	Multiform, salmon, A5 sheets	10	3
14.	PPT, pink, A5 sheets	5,5	3
15.	Dyafoam, beige, A5 sheets	6	3
16.	Plastazote, white, A5 sheets	10	3
17.	Kalfsleather, beige, A5 sheet	1	3
18.	Sportslining, light grey, A5 sheet	1	3
19.	Microfibre, beige, A5 sheet	0,8	3

Bij PFI zijn 3 metingen te verricht:

1. Schokabsorptie
2. Schokabsorptie na duurbelasting
3. Wrijving (Martindale abrasion)

MATERIAAL BEWERKING

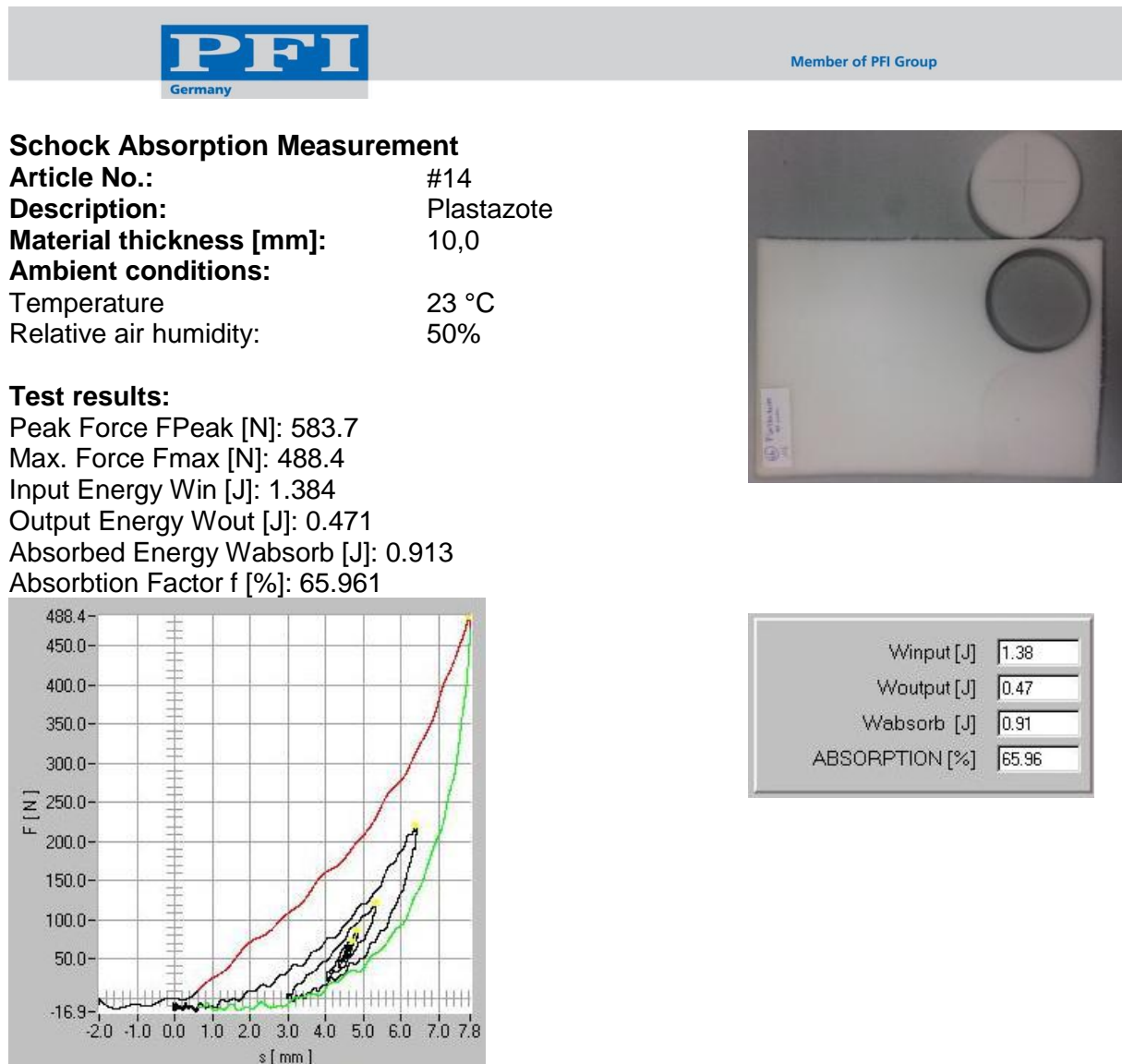
Uit de resultaten sheet van de gedane experimenten is te achterhalen dat voor de schokabsorptie experimenten rondjes uit de materialen zijn gesneden van 70 mm doorsnede. Initiële schokabsorptietesten zijn uitgevoerd voor de eerste 14 materialen uit bovenstaande lijst.

METHODE

Uit een opgestuurde video van de gedane experimenten (ShockAbsorptionMeasurementVideo.mp4) is te achterhalen welke methode is gebruikt. Allereerst is de dikte van het materiaalmonster gemeten op 0,1 mm nauwkeurigheid. Vervolgens zijn de meetparameters ingesteld, de gemeten dikte wordt ingevoerd en de valhoogte dusdanig ingesteld dat de snelheid bij het raken van het materiaal 0,5 m/s is. Daarna wordt het materiaalmonster onder een plunjer (7,5 kg) geplaatst en die laat men op het materiaal vallen. Het softwareprogramma registreert kracht als functie van de tijd en indrukking als functie van de tijd en kracht (F) vs indrukking (s).

Het resultaat-datablad geeft een samenvatting van de gemeten waarden en foto's van het materiaal en de bijbehorende curve. Figuur 16 geeft een voorbeeld voor Plastazote:

Figuur 16. Resultaat schokabsorptiemeting Plastazote



Navraag leert dat het verschil tussen Peak Force en Max Force een filter-instelling is. De Max. Force is een beter reproduceerbare waarde.

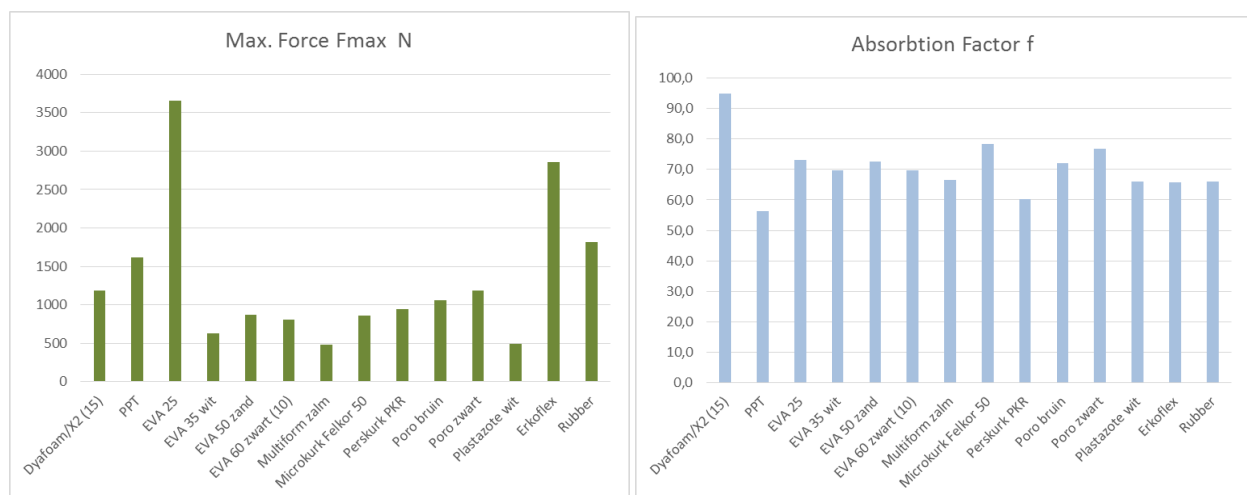
RESULTATEN

De resultaten zijn opgenomen in de Excel-file met alle resultaten Materialen_gecorrigeerd.xlsx werkblad PFI. Een overzicht van de resultaten is weergegeven in tabel 12 en figuur 17.

Tabel 12. Resultaten PFI Schokabsorptiemetingen

Materiaal:	PFI-Measurements						
	Peak Force FPeak	Max. Force Fmax	Input Energy Win	Output Energy Wout	Absorbed Energy Wabsorb	Absorbtion Factor f	Thickness
	N	N	J	J	J	%	mm
Dyafoam/X2 (15)	1248,3	1187,6	1,072	0,055	1,016	94,9	5,9
PPT	1708,2	1618,3	1,105	0,484	0,621	56,2	5,8
EVA 25	4787	3653,1	1,029	0,276	0,753	73,2	3,1
EVA 35 wit	655,6	627,6	1,077	0,327	0,75	69,7	10,64
EVA 50 zand	914,2	872,3	0,963	0,263	0,7	72,7	5,2
EVA 60 zwart (10)	860,3	804,6	1,012	0,306	0,706	69,8	9,98
Multiform zalm	580,1	481,8	1,222	0,409	0,813	66,6	10,04
Microkurk Felkor 50	1004	856	1,052	0,227	0,825	78,4	9,82
Perskurk PKR	996,9	944	1,001	0,398	0,602	60,2	9,63
Poro bruin	1208,8	1055,1	0,981	0,274	0,707	72,0	10,53
Poro zwart	1266,3	1182,9	0,959	0,222	0,738	76,9	5,9
Plastazote wit	583,7	488,4	1,384	0,371	0,913	66,0	10
Erkoflex	2954,8	2856,8	0,899	0,307	0,592	65,8	3,9
Rubber	1916,5	1815,3	0,923	0,315	0,609	65,9	6,1

Figuur 17. Resultaten PFI Schokabsorptiemetingen, Fmax en Absorptie factor



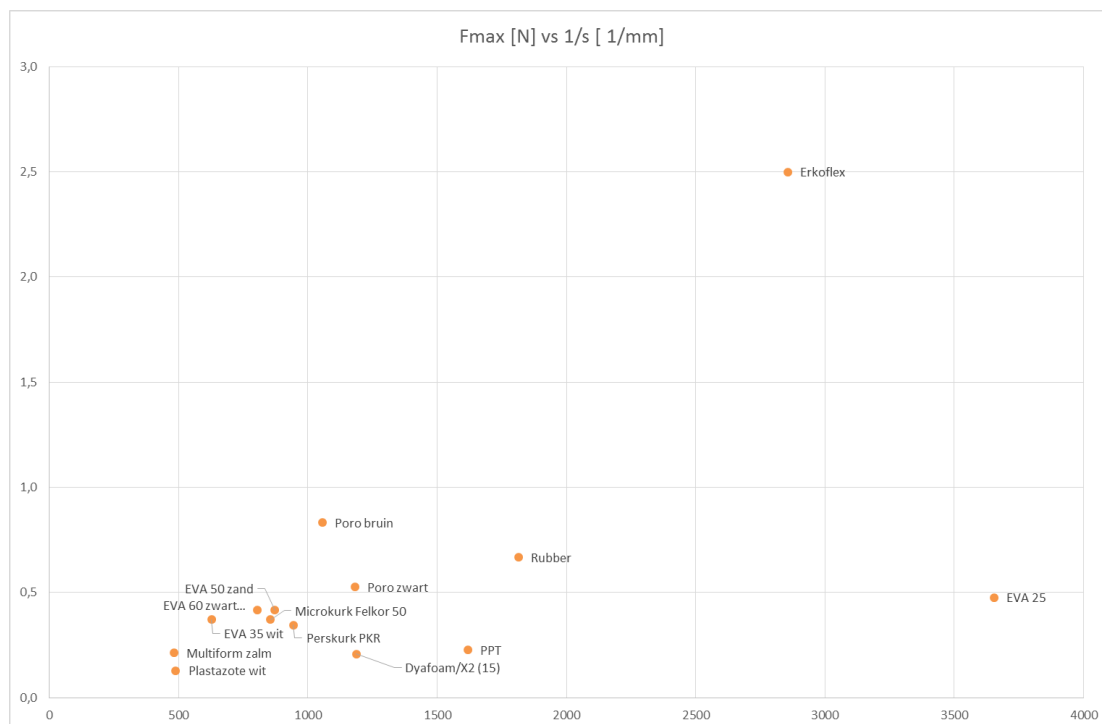
DISCUSSIE EN CONCLUSIE

Een goed schokabsorberend materiaal verlaagt de piekkracht en zorgt ervoor dat er veel van de schokenergie wordt geabsorbeerd in het materiaal. Wanneer we naar de piekkracht kijken, blijken

Plastazote en Multiform de laagste maximale kracht op te leveren. Wanneer we naar de schokenergie kijken is Dyafoam/X2 het best in staat schokenergie op te nemen. Opvallend is de hoge maximale kracht bij het zachte materiaal EVA25. Omdat dit tevens een zeer dun materiaalmonster betreft hebben we het vermoeden dat er hier sprake is geweest van een 'bottom-out' effect. Een bottom-out effect is ook bij Dyafoam/X2 en PPT niet geheel uit te sluiten, gezien de relatief hoge maximale krachten die hier gemeten worden. Herhaling van de experimenten met dikkere materiaalmonsters zou hierin uitsluitsel moeten geven.

Omdat de snelheid bij het raken van het materiaalmonster gelijk is gehouden, krijgt elk materiaalmonster dezelfde impact te verwerken. Zonder bottom-out effect is de piekkracht dan met name afhankelijk van de remweg in het materiaalmonster, volgens $W=F \cdot ds$. Met W =arbeid, F =kracht en ds mate van indrukking. Een curve van F vs $1/ds$ zou dan een rechte lijn op moeten leveren. De waarde van s kan uit het resultaat-datablad worden gehaald (zie figuur 16). F_{max} uitgezet tegen $1/s$, max levert figuur 18. Hier is te zien dat EVA25, PPT en in mindere mate Dyafoam afwijken van een denkbeeldige lijn die door de andere punten kan worden getrokken, waarschijnlijk omdat ze bij de gebruikte dikte bottom-out verschijnselen vertonen.

Figuur 18. F_{max} vs $1/s$



Metingen PFI Effect van duurbelasting op schokabsorptie

METHODE

Voor de duurbelastingen zijn eveneens rondjes van 70 mm doorsnee (15 cm²) uit het materiaal gesneden en onderworpen aan 10.000 cycli van belasting met 600 N (40 N/cm²). De dikte van het materiaal is gemeten voorafgaand aan de belasting, na 10.000 cycli en na 24 uur recovery. Metingen zijn uitgevoerd in 2-voud. Vervolgens is na deze long-term load opnieuw de schokabsorptie test uitgevoerd zoals beschreven in voorgaand hoofdstuk. Metingen zijn uitgevoerd aan 7 materialen, te weten: Poro black, Poro brown, Perskurk, Mikrokurk, Multiform, EVA60 en EVA35.

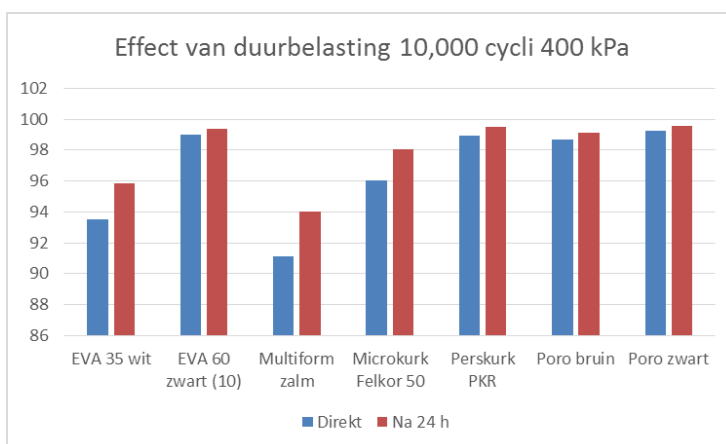
RESULTATEN

De resultaten zijn opgenomen in de Excel-file met alle resultaten Materialen_gecorrigeerd.xlsx werkblad PFI. Een overzicht van de resultaten van de dikte metingen is weergegeven in tabel 13 en figuur 19.

Tabel 13. Effect van duurbelasting op materiaaldikte.

Materiaal	After 10.000 cycles				24 h recovery			Average Variation %	Average variation after 24 h
	Thickness mm	mm	Variation mm	Variation %	mm	Variation mm	Variation %		
EVA 35 wit	10,6	9,96	0,68	6,39	10,17	0,47	4,42	6,48	4,18
	10,7	9,96	0,7	6,57	10,24	0,42	3,94		
EVA 60 zwart (10)	9,98	9,87	0,11	1,10	9,92	0,06	0,60	1,00	0,60
	9,95	9,86	0,09	0,90	9,89	0,06	0,60		
Multiform zalm	10	9,12	0,92	9,16	9,52	0,52	5,18	8,88	6,01
	10,2	9,35	0,88	8,60	9,53	0,7	6,84		
Mikrokurk Felkor 50	9,82	9,31	0,51	5,19	9,54	0,28	2,85	3,95	1,93
	9,94	9,67	0,27	2,72	9,84	0,1	1,01		
Perskurk PKR	9,63	9,53	0,1	1,04	9,59	0,04	0,42	1,09	0,46
	9,72	9,61	0,11	1,13	9,67	0,05	0,51		
Poro bruin	10,5	10,42	0,11	1,04	10,44	0,09	0,85	1,31	0,85
	10,8	10,58	0,17	1,58	10,66	0,09	0,84		
Poro zwart	5,9	5,86	0,04	0,68	5,88	0,02	0,34	0,75	0,42
	6,02	5,97	0,05	0,83	5,99	0,03	0,50		

Figuur 19. Effect van duurbelasting op materiaaldikte

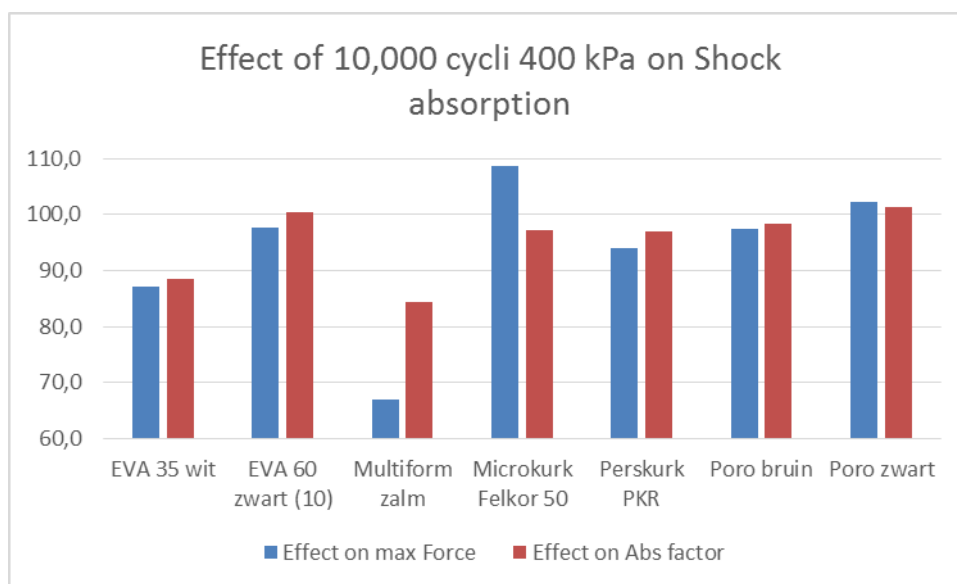


Een overzicht van het effect van duurbelasting op de schokabsorptie is weergegeven in tabel 14 en figuur 20.

Tabel 20. Resultaten van Schokabsorptie-metingen na duurbelasting

Materiaal:	10,000 cycles, 600 N- 40 N/cm2							Effect of 10.000 cycles Max Force	Effect of 10.000 cycles on Absorption factor
	Max. Force Fmax	Peak Force FPeak	Max. Force Fmax	Input Energy Win	Output Energy Wout	Absorbed Energy Wabsorb	Absorption Factor f		
	N	N	N	J	J	J	%		
EVA 35 wit	627,6	727,4	709	1,146	0,439	0,707	61,7	13,0	-11,4
EVA 60 zwart (10)	804,6	849,6	823	1,001	0,3	0,701	70,0	2,3	0,4
Multiform zalm	481,8	687,9	640,6	1,217	0,533	0,684	56,2	33,0	-15,5
Microkurk Felkor 50	856	820,8	781,8	1,055	0,251	0,804	76,2	-8,7	-2,8
Perskurk PKR	944	1101	1000	1,053	0,438	0,615	58,4	5,9	-3,0
Poro bruin	1055,1	1129,8	1082,9	0,992	0,289	0,703	70,8	2,6	-1,6
Poro zwart	1182,9	1219,6	1155,2	0,952	0,211	0,741	77,9	-2,3	1,3

Figuur 20. Effect van duurbelasting op schokabsorptie eigenschappen, berekend als percentage van oorspronkelijke waarden. De % verhoging van Fmax is afgetrokken van de 100%-waarde omdat dat een negatief effect is.



DISCUSSIE EN CONCLUSIE

Uit de duurbelastings-experimenten blijkt dat Multiform, EVA35 en in mindere mate Microkurk een behoorlijke mate van rest-indrukking blijven vertonen (2-6%). Bij 45 stappen/voet/min gedurende 20 min/dag, komt 10,000 cycli overeen met 11 dagen lopen. De belasting van 400 kPa is overeenkomstig in de literatuur gevonden waarden (o.a. Brodsky et al. [1] Peak Plantar Pressures 2,8-3,6 kg/cm²). De door PFI gevonden verschillen zijn kleiner dan de verschillen gemeten in hoofdstuk 4 van dit rapport na 100 cycli van 350 kPa: EVA35 0,7 vs 1,1 mm, Multiform 0,9 vs 1,4 mm, Microkurk 0,4 vs 0,5 mm (zie Tabel 6 uit dit rapport). De trend is echter gelijk: Multiform is minder duurzaam dan EVA35 dat weer minder duurzaam is dan Microkurk.

Uit de schokabsorptie metingen blijkt ook dat de schokabsorptiecapaciteiten van Multiform en EVA35 achteruit gaan. Dit blijkt zowel uit de stijging van F_{max} als uit de verlaging van de geabsorbeerde energie ten opzichte van het materiaal voor belasting. Bij Microkurk is effect op de schokabsorptie veel minder merkbaar. De gemeten F_{max} is daar zelfs lager dan vóór de belasting. Daarnaast lijkt de schokabsorptie capaciteit van perskurk ook negatief beïnvloed te zijn door de duurbelasting, hoewel dat uit de materiaaldikte niet duidelijk valt op te maken.

Metingen PFI Martindale Abrasion

METHODE


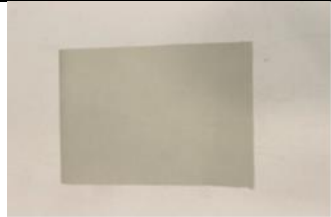
















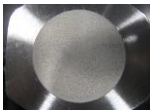

De slijtweerstand van drie geleverde afdekmaterialen is getest door middel van de Martindale Abrasion Resistance methode, zoals beschreven in ISO 12947-2. Verdere details van de metingen of de materiaal voorbereiding zijn ons niet gegeven.

RESULTATEN



Martindale abrasion resistance (i. a. DIN EN ISO 12947-2)

Test material:

Sportslining leather, thickness 1 mm		Microfibre, thickness 0,8 mm		Kalfsleather beige, thickness 1 mm	
					
Dry	Wet	Dry	Wet	Dry	Wet
6.400x – slightly glossy 	6.400x – damaged 	6.400x – slight abrasion and slight knots 	6.400x – abrasion and slight knots 	6.400x – abrasion of grain 	6.400x – abrasion of grain 
12.800 x – slight abrasion of grain 		12.800 x – abrasion and knots 	12.800 x – abrasion and slight knots 	12.800 x – grain at edge rubbed off 	12.800x – damaged 
44.800 x – slight abrasion of grain, glossy 		44.800 x – abrasion of knots 		44.800 x – abrasion of leather fibers at edge 	
51.200 x – slight abrasion of grain, glossy 		51.200 x – abrasion 		51.200 x – abrasion of leather fibers at edge 	

DISCUSSIE EN CONCLUSIE

Van de 3 geteste materialen lijkt Microfibre (van Frecoma) het meest slijtbestendig. Opvallend resultaat is dat sportvoering al vrij snel kapot gaat in natte condities. Je zou verwachten dat juist zo'n type afdek materiaal gekozen wordt omdat het in vochtige omstandigheden zijn eigenschappen blijft behouden.

Literatuur

1. Brodsky, J.W., et al., *Physical properties, durability, and energy-dissipation function of dual-density orthotic materials used in insoles for diabetic patients*. Foot Ankle Int, 2007. **28**(8): p. 880-9.
2. Lange, d.T., *Materiaalkeuze en steunzolen, nog een lange weg te gaan*. Podosophia, 2007. **Nov**(6): p. 13-17.